المكثفات

وتحسين معامل القدرة

دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد



مراجعة
الأستاذ الدكتور
محمد أحمد تمر

المكثفات
وتحسين معامل القدرة

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد

مراجعة

الأستاذ الدكتور

محمد أحمد قمر

الطبعة الأولى مايو ١٩٩١
الطبعة الثانية يناير ١٩٩٦
الطبعة الثالثة في يونيه ٢٠٠١
الطبعة الرابعة سبتمبر ٢٠٠٥

تصميم الغلاف :
م / أحمد طه هاشم

بسم الله الرحمن الرحيم

" وما أوتيتم من العلم الا قليلا "

صدق الله العظيم



مقدمه

. كان التوسع الكبير فى استخدام الطاقة الكهربائية ، فى مجالات شتى ، فى حياتنا العملية ، والتزايد المستمر للاحمال الصناعية سبباً فى انخفاض معامل القدرة فى الشبكة الكهربائية عادة . لذلك استلزم الامر البحث عن وسائل لتحسين معامل القدرة للشبكة الكهربائية ، سواء كان ذلك فى شبكة الجهد المتوسط أو المنخفض . وقد اتضح ان من أرخص وأبسط وسائل تحسين معامل القدرة استخدام مكثفات القدرة ، وهى تعمل على توفير طاقة غير فعالة اضافية ومفيدة للشبكة الكهربائية ، مع تقليل الفقد الكهربى ، وخفض تيار التحميل للكابلات وبالتالى زيادة العمر الافتراضى لها .

وكانت التوصيات الدائمة للسيد المهندس / وزير الكهرباء والطاقة ، بخصوص تحسين اداء الشبكات الكهربائية ، وتقليل الفقد فى الطاقة حافزاً لتحديد موضوع هذا الكتاب ، وذلك لالقاء الضوء على فوائد المكثفات واهميتها واستخداماتها .

وقد كان طلب السيد المهندس / رئيس مجلس ادارة شركة توزيع كهرباء الاسكندرية بتجميع مادة علمية عن المكثفات مشجعاً لى على البحث الدؤوب بين المراجع للتوصل إلى المادة العلمية السهلة التى يستفيد منها زملائى المهندسين والفنيين والعاملين فى مجال نقل وتوزيع الكهرباء .

وقد قام بمراجعة الكتاب الاستاذ الدكتور / محمد احمد قمر الذى بذل جهداً مشكوراً فى تبسيط اللغة العلمية بالعربية والمساعدة فى اخراج الكتاب بالصوره التى ظهر بها

وقد وافق السيد المهندس / رئيس مجلس الادارة على طباعة هذا الكتاب على نفقة الشركة وصدر الامر لدار المطبوعات الجديدة التى قامت بجهد مشرف فى سبيل اخراج هذا الكتاب .

وفقنا الله جميعاً إلى ما فيه خير بلدنا ، واسأله تعالى ان يتم بهذا العمل الفائدة المرجوة لخدمة قطاع الكهرباء وصلى الله على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم .

والله ولى التوفيق

الاسكندرية فى ١٦ / ٥ / ١٩٩١ — د / كاميليا يوسف

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة للتنويه

تتكون الأحمال على أية منظومة قدرة *(Power System)* من ثلاثة أنواع مميزة :

١ - الأحمال ، التى يكون معامل قدرتها الوحدة ، وهى التى تستهلك قدرة فعالة *(Active Power)* فقط ، وهى بطبيعتها عبارة عن مقاومات *(Resistances)* ، أو ما يكافؤها ، ويكون التيار الذى تسحبه فى توافق مرحلى مع جهد المنظومة ، الذى يؤخذ كمحور مرجعى *(Reference Axis)* عادة ، والذى يفترض فيه أنه ثابت القيمة والتردد بطبيعته ، أو بمساعدة الأجهزة اللازمة لذلك ، شكل (١) ، ويعتبر هذا النوع من الأحمال ، وهو الذى يقاس بالوات أو الكيلووات *(Kw)* ، وهو الأفضل دائماً ، حيث يكون التيار الذى يسحبه الحمل من مولدات التغذية *(Supply Generators)* ، وبالتالى التيار الذى يمر فى خطوط التغذية ، هو أصغر تيار يكفى لتغذية هذا الحمل ، وهذا بطبيعة الحال من وجهة نظر الشركة المنتجة والموزعة للتيار .

٢ - الأحمال ، التى تقاس بالڤولت أمبير *(VA)* أو الكيلوڤولت أمبير *(KVA)* ، وهى التى يكون معامل قدرتها أقل من الواحد الصحيح متأخراً ، وهى تستهلك ، فى هذه الحالة نوعين من القدرة : (أ) القدرة الفعالة التى تشبه فى طبيعتها قدرة الأحمال السابقة وتقاس بالوات أو الكيلووات . (ب) القدرة غير الفعالة ، والتى تكون بطبيعتها حثية *(Inductive)* فى هذه الحالة ; أى ناشئة عن وجود حث ذاتى *(Self Inductance)* فى مقومات الدائرة التى يتكون منها الحمل ، ويطلق على قدرة هذا النوع من الأحمال إسم قدرة حثية غير فعالة ، أو قدرة حثية فقط ، من قبيل الإختصار ، وهى تقاس بالڤولت أمبير المانع *(Var)* ڤار ، أو بالكيلوڤولت أمبير المانع كيلوڤار *(Kvar)* ، ونظراً لأن التيار يكون متأخراً عن الجهد بزاوية الإختلاف المرحلى (أو زاوية إختلاف الوجه) Φ ، حيث تكون جتاΦ *(cos Φ)* هى معامل القدرة المتأخر ، فإن هذا التيار يمتلك مركبتين بالنسبة للجهد ، الذى ما زال يعتبر المحور المرجعى ، وهما مركبة التيار الفعالة I_a *(Active Component of current)* ، ومركبة التيار غير الفعالة I_r *(Reactive Component of Current)* ، التى هى حثية *(Inductive)* فى هذه الحالة ، وهذا كله واضح فى شكل (٢) حيث نرى أنهما متعامدتان . وتكون القدرة الفعالة إذاً ناشئة بفعل مركبة التيار الفعالة ، كما أن

القدرة غير الفعالة تكون ناشئة بفعل مركبة التيار غير الفعالة . ومن الواضح أن التيار الكلى الذى يسحبه الحمل من المنظومة يتأثر ، فى هذه الحالة ، بقيمة معامل قدرة الحمل المتأخر ، حيث تصغر قيمته كلما زادت قيمة هذا المعامل ، حتى يبلغ أصغر ، وأفضل قيمة له ، بالنسبة للمنظومة ، عندما يصبح معامل القدرة مساوياً للواحد الصحيح ، أى كما فى الحالة (١) . هذا ، ويبين شكل (٣) أن مركبتى حمل الكيلو ڤولت أمبير المناظرتين لمركبتى التيار الفعالة ، وغير الفعالة : هما القدرة الفعالة بالكيلووات (Kw) والقدرة غير الفعالة (الحثية فى هذه الحالة) بالكيلوڤار (Kvar) ولا شك أنه كلما قلت القدرة غير الفعالة فى الحمل كلما كان ذلك أفضل بالنسبة لتحميل مولدات التغذية ، وخطوط التوزيع والتغذية فى الشبكة الكهربائية .

٣ - الأحمال ، التى تقاس بالڤولت أمبير (VA) أو الكيلوڤولت أمبير (KVA) ، وهى التى يكون معامل قدرتها أقل من الواحد الصحيح ، ولكن متقدماً فى هذه الحالة ، أى على عكس الحالة (٢) ، أو ما يضادها . وتستهلك هذه الأحمال ، كما فى الحالة (٢) قدرة فعالة بالكيلووات ، وقدرة غير فعالة بالكيلوڤار ، ولكنها سعوية (Capacitive) بطبيعتها ، فى هذه المرة ، أى أنها ناشئة عن وجود سعة (Capacitance) فى مقومات الدائرة التى يتكون منها الحمل . ويطلق على قدرة هذا النوع من الأحمال إسم قدرة سعوية غير فعالة ، أو قدرة سعوية فقط ، من قبيل الإختصار ، وهى تقاس بالڤولت أمبير الممانع أيضاً ، أو بالكيلوڤولت أمبير الممانع . ويكون للتيار مركبتان ، كما فى الحالة (٢) ، وهى المركبة الفعالة I_a والمركبة غير الفعالة I_r ، والتى هى سعوية فى هذه الحالة ، أى متقدمة على الجهد ، كما هو واضح فى شكل (٤-أ) ، أما مركبتى القدرة فهما الكيلووات والكيلوڤولت أمبير الممانع ، المتقدم مرحلياً على الجهد ، وهما متعامدتان ، كما فى شكل (٤-ب) . تكون الأحمال على المنظومة الواحدة مزيجاً من الأحمال السابقة ، وتتأثر مولدات التغذية فى هذه المنظومة ، وكذلك خطوط التغذية والتوزيع ، بالتيارات الناشئة عن محصلة هذه الأحمال . وبمراجعة شكلى (٣) و (٤-ب) يتضح أن مركبات الأحمال الحثية يمكن أن تتعادل مع مركبات الأحمال السعوية (التى تضادها فى الإتجاه) بما يؤدى إلى تقليل مركبة الحمل الممانع ، المؤثرة في معامل القدرة المحصل ، وبالتالى تحسين معامل القدرة ، فتقل قيمة تيارات التغذية والتوزيع ،

وهو ما يعمل على زيادة سعة الخطوط والمولدات لإستيعاب مزيد من الأحمال .

لذلك فإن شركة إنتاج وتوزيع الكهرباء تعمل على تشجيع المستهلكين ، بل وعلى أن تفرض عليهم بالنص فى تعاقدها معهم ، إذا لزم الأمر ، على أن يقوم كل منهم على حدة بتحسين معامل القدرة ، الخاص بأحماله متجمعة ، إذا كانت من النوع الحثى المتخلف ، وهو النوع الغالب من الأحمال ، وذلك بإضافة حمل سعوى مضاد ، عن طريق تركيب مكثفات بالطريقة الملائمة .

وتحاول شركة توزيع كهرباء الاسكندرية فى هذا الكتاب مساعدة المستهلكين بالمعلومات الضرورية ، فى هذا السبيل ، وقد قامت الدكتورة / كاميليا يوسف محمد : مدير إدارة متابعة قطاع الجهد العالى بشركة توزيع كهرباء الاسكندرية بتجميع أكبر قدر من المعلومات اللازمة لذلك ، بتوجيه من السيد المهندس / رئيس مجلس الإدارة ، وتحت إشرافه ، وقد قمت بمراجعتها وحرصنا جميعاً على أن تكون هذه المعلومات سهلة التناول بالنسبة للمهندسين والفنيين العاملين فى هذا المجال على قدر ما نستطيع بالغرض المنشود :

هذا وقد حرص العاملون بدار المطبوعات الجديدة بما هو معهود فيهم من دقة ونشاط ملحوظين على إخراج الكتاب فى صورة مشرفة من ناحية الطباعة ، جزا الله الجميع كل الخير ، وهدانا سواء السبيل ، إنه نعم المولى ونعم المعين .

الاسكندرية فى ٢٦ شوال ١٤١١

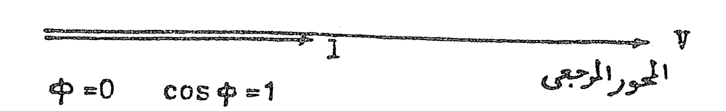
الموافق ١١ مايو ١٩٩١

دكتور محمد أحمد أحمد

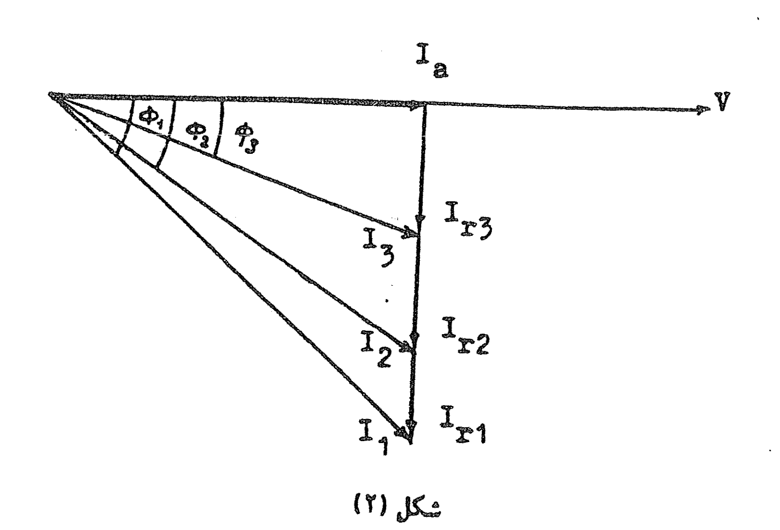
استاذ بكلية الهندسة - جامعة الاسكندرية

وعضو مجلس ادارة شركة توزيع كهرباء الاسكندرية

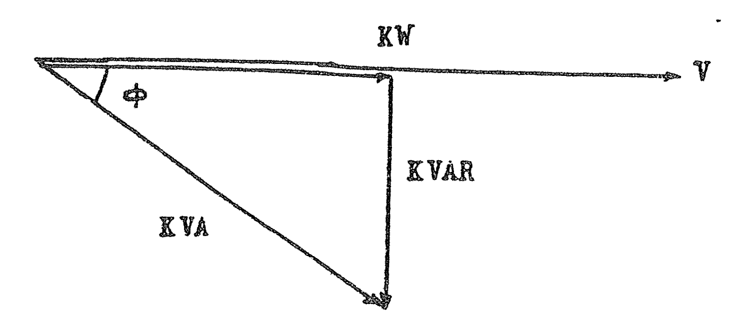
٣٥



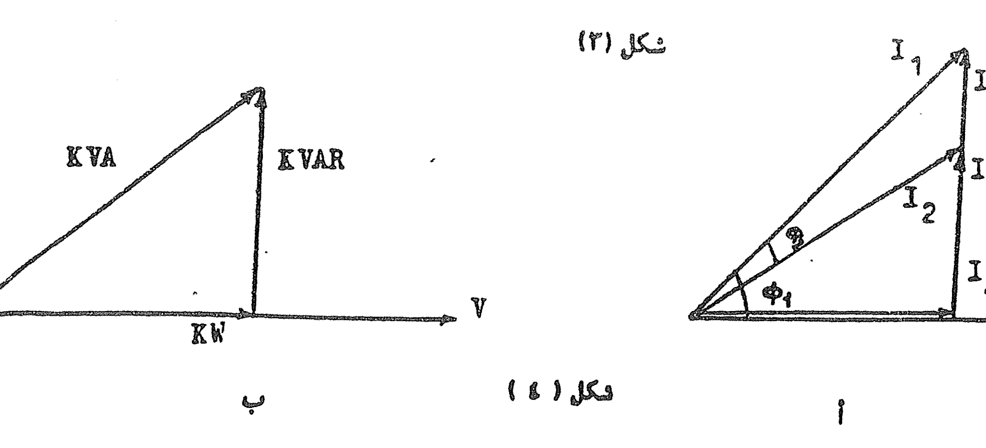
شكل (١)



شكل (٢)



شكل (٣)



ب شكل (٤) أ

الباب الأول

المكثفات

١-١ نكرة عن تاريخ انتاج المكثفات :

منذ حوالى ٨٠ عاماً بدأت المنشآت التجارية تستخدم المكثفات فى دوائر التليفونات والتلغراف عند الجهود المنخفضة .

وفى ذلك الوقت كان قطبا المكثف عبارة عن ورق مفضض مرصوص ملحوم ، مكوناً القطبين ، وبينهما ورق عازل مشرب بالشمع . عند إستخدام هذه المكثفات فى الدوائر الكهربية ، عند الترددات العادية ، والجهود المرتفعة ، كان المكثف ينهار نتيجة تأين الفراغ الناشئ عن إنكماش الشمع عندما يبرد ويتجمد .

نتيجة لذلك تم إستبدال الشمع بهلام البترول - الفازلين - ولكن عند زيادة الجهد حتى ٤٠٠ ڤولت كانت تحدث نفس الظاهرة - ثم تم إستخدام الزيت المعدنى بدلاً من الفازلين .

عندما أمكن تصنيع شرائح الألمونيوم بأطوال ممتدة ، وبسمك أقل من ٧ ميكرومتر ، تم إستخدامها فى المكثفات بدلاً من الورق المفضض . وفى نفس الوقت تم إنتاج ورق ملفوف على بكر ذى جودة عالية ومناسب فنياً . عندئذ تم تصميم ملفات إسطوانية ملفوفة على قلب إسطوانى ورقى ذى صمغ صناعى . تتم عملية تجميع الملفات بإستخدام محور معدنى يخترق الأنبوبة الإسطوانية ، يتم إدخاله فى الأنبوبة لإستعماله كمقبض . وقد أنتج أحد المصنعين ورق معرج يساعد الزيت على المرور خلال الملفات بواسطة تيارات الحمل ، وذلك لتبريدها داخلياً .

فى حوالى عام ١٩٥٥ تم تصنيع سوائل صناعية تحت بند التجميع *Askerel* لإستخدامها كمادة عازلة بدلاً من الزيت المعدنى .

أطلق على هذه السوائل إسم بولى كلورينيت بيفنيل *Polychlorninated Biphenyl* ورمز لها *PCB* ولها أسماء تجارية مختلفة منها :

Aroclor , Biclor , Pyraclor , Clophen ,...............................

من خصائص المادة العازلة *PCB*

- أنها غير قابلة للإشتعال .

- أن معامل المجاوزية لها مرتفع *High Permittivity* .

- إرتفاع المتانة الكهربائية للعازل *High Dielectric Strength* .

تم تصنيع ورق كرافت *(Kraft)* من خشب اللبلاب - بعد إجراء عمليات معالجة يتم فيه غمس الورق فى مادة *PCB* ، تم إستخدامه كمادة عازلة فى المكثفات .

معامل الفقد لمادة عازلة مكونة من قطعة قماش مغموسة فى الزيت المعدنى حوالى ٢و١ وات / ك . ڤار *(tan δ = 0.0012)* بينما معامل الفقد لمادة عازلة مكونة من ورق كرافت مغموس فى مادة *PCB* حوالى ٥و٢ - ٣ وات / ك . ڤار *(tan δ = 0.0025 to 0.003)* وعلى ذلك فإنه بالرغم من أن معامل الفقد أكبر فى حالة إستخدام *PCB* عنه فى حالة إستخدام زيت معدنى ، إلا أن حجم المكثف يقل بدرجة كبيرة فى حالة إستخدام مادة *PCB* . وبالتالى أصبح إستخدام المكثفات ذات ورق كرافت مغموس فى *PCB* هو الشائع فى ذلك الوقت .

هذا ، وبسبب لزوجة *PCB* بالرغم من إرتفاع سعره بالمقارنة بالزيت المعدنى ، فإنه تم تقليل حجم المكثف بقدر الإمكان ، لإستخدام أقل كمية ممكنة من *PCB* .

أمكن تصنيع ملفات بدون قلب ، ضغطت على شكل بيضاوى مسطح ، ومجمعة فى حزم على شكل مستطيل - بدلاً من الملفات الإسطوانية الشكل التى كانت تستخدم سابقاً - ثم يتم وضع الملفات بإناء المكثف الخارجى ، المحتوى على السائل العازل . فمثلاً فى حالة مكثف يعمل على ضغط عالى بقدرة ١٠٠ ك . ڤار تكون كمية السائل العازل حوالى ٧٥و٦ لتراً (٥و١ جالون) .

فى ذلك الوقت كانت المسافة بين النقط الساخنة *Hot Spots* وجسم المكثف تقدر على النحو التالى :

- حوالى ٥و٦٣ مم للمكثفات حتى ٥٠ ك . ڤار - جهد عالى .

- حوالى ١١٤ مم للمكثفات حتى ١٠٠ ك . ڤار جهد عالى - وفى هذه الحالة يكون المسار الحرارى ٥٧ مم .

على الرغم من التحسينات المتعددة ، التى أجريت على ورق كرافت ومادة بولى كلورينيت بيفنيل *PCB* والتى تم إجراؤها من ١٩٦٠ - ١٩٧٠ ، فإن أقصى قدرة مكثفات جهد عالى أمكن الحصول عليها هى ١٠٠ ك . ڤار . أما بالنسبة للجهود المنخفضة ٣٨٠ ڤولت - ٦٦٠

ڤولت ، فقد كانت أقصى قدرة للمكثفات عبارة عن ٥٠ ك . ڤار ، حيث كان حجم المكثف كبير نسبياً . ونتيجة للتوسع الهائل فى إستهلاك الكهرباء ، أى إزدياد إستهلاك القدرة غير الفعالة ، فقد اقتضت الحاجة إنتاج مكثفات بقدرات أكبر . وبالفعل تم تصنيع مكثفات حتى قدرة ٢٢٥ ك . ڤار بعازل يتكون من طبقات رقيقة من بولى بروبيلين *Oriented Polypropylen* ، وورق مثل القتيل ، يسمح للسائل أن يتخلل الطبقات الرقيقة . وبناء على ذلك فقد إنخفض معامل الفقد من ٢,٥ وات / ك . ڤار إلى ٠,٦ وات / ك . ڤار .

فى عام ١٩٧٥ تم إنتاج أعداد كبيرة من المكثفات ، ذات قدرات مختلفة ، وبمادة عازلة عبارة عن بولى كلورينيت بيفنيل (PCB) . ولكن ظهرت بعد ذلك ابحاث تؤكد مخاطر مادة (PCB) على الحياة ، وعلى البيئة ، فتوقفت المصانع المنتجة لهذه المادة عن العمل نهائياً ، فى كل من الولايات الأمريكية والمملكة المتحدة حوالى عام ١٩٧٨ . كما صدر فى اليابان حظر على إستخدام هذه المادة نهائياً .

لذلك فقد أجبرت مصانع المكثفات للجهود المتوسطة والمنخفضة على إيجاد بدائل لمادة PCB ، وقابلت مشاكل متعددة فى هذا السبيل ، حتى أمكن إيجاد بدائل منها :

- *DOP (Dioctyl Phthalate)*
- *DINP (Dilsononyl Phthalate)*
- *IPB (Isopropyl Biphenyl)*
- *BNC (Benzyl Neocaprate)*

فيما يلى جدول يبين الثوابت الخاصة بهذه المواد :

النـــوع	المجـــاوزيـــة	اجهـــادالعـزل Mv / m
DOP	٥,٢٦	١٠,٦
DINP	٤,٦٨	١١,٨
IPB	٢,٨٣	٥١ ك . ف
BNC	٣,٨	٧٦ ك . ف

وقد استخدمت فى مكثفات الجهد المنخفض طبقات رقيقة من البولى بروبيلين كعازل ، كما أن أحد مصنعى المكثفات فى المملكة المتحدة أعاد انتاج المكثفات المغموسة فى الزيت المعدنى ذى الكثافة العالية لتشريب الورق به . ثم بدئ فى المملكة المتحدة فى انتاج المكثفات الجافة - ذات شرائح البلاستيك .

الجدول التالى يوضح قيم القدرة المفقودة (وات / ك .ڤار) لأنواع العزل المختلفة .

نـوع المكثـف	الـورق العازل وات/ك. ڤار	رقائق من البولى بروبلين مع الورق العازل وات / ك . ڤار	رقائق من البولى بروبلين العازل وات / ك . ڤار
مكثفات الإضاءة	٤ - ٦	١ - ٢	أقل من ٠,٥
مكثفات الجهد المنخفض أقل من ٦٦٠ ڤولت	٣	١	أقل من ٠,٥
وحدات مكثفات آلية ٤٠٠ ڤولت	٣,٥	١,٥	٠,٥ - ١
مكثفات الجهد العالى .	١,٥	٠,٥	أقل من ٠,٥

الخصائص العامة للمادة العازلة من رقائق البولى بروبيلين *Polypropylene Film*

البولى بروبيلين عبارة عن مادة عازلة أمكن تصنيعها على شكل ألواح رقيقة (رقائق) . تستخدم هذه الألواح مع ألواح معدنية رقيقة لتكوين ملفات المكثفات ، حيث يتم تصنيعها بالضغط بأشكال مناسبة . شكل (١-١) يوضح طريقة لف رقائق العازل مع ألواح معدنية من الألومنيوم .

تعرف المادة العازلة علمياً بالبولى بروبيلين الإتجاهى *Oriented Polypropylene* ويرمز لها *opp* ومن خصائصه :

١ - معامل الفقد ($\tan \delta \leq 0.3 \times 10^{-3}$) .

٢ - المجاوزية ٢,٢٥ في حدود تردد ٥٠ هرتز إلى ١ م هرتز .

٣ - المقاومة النوعية ١٠ ^١٥^ أوم سم عند رطوبة نسبية ٥٠٪ .

٤ - يمكن الحصول على رقائق بسمك مختلف على النحو التالي :

- في أوربا السمك النموذجي ٤ ، ٥ ، ٦ ميكرومتر

والسمك المستعمل ٨ ، ١٠ ، ١٢ ، ١٥ ، ١٨ ميكرومتر

- في أمريكا وحدات القياس المستعملة ٤٤ ، ٥٠ ، ٥٥ ، ٦٠

يقابلها ١١,٢ ، ١١,٧ ، ١٣,٨ ، ١٥,٢ ميكرومتر

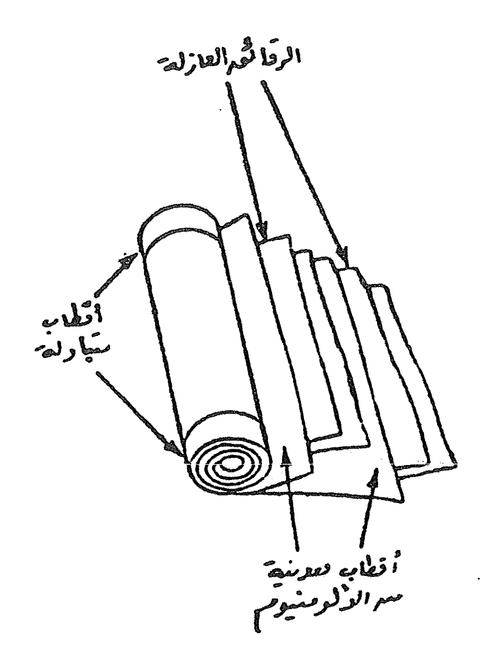
من الشائع إستخدام الرقائق من نوع العازل المخلوط من البولي بروبيلين مع الورق بنسبة ٢ : ١ ، أي بالنسبة العكسية لمجاوزية كل منها .

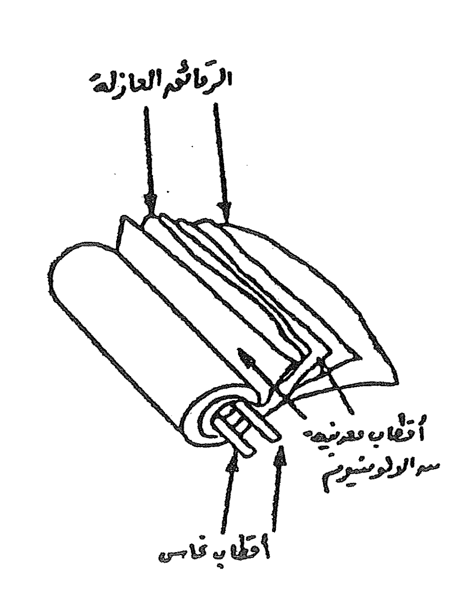
نفرض عنصر مكون من :

- ورق مشبع بالزيت بسمك ١٠ ميكرومتر وإجهاد العزل ١٦ ميجا ڤولت / متر : يترتب على ذلك أن يكون الجهد بين طرفي الورق ١٦٠ ڤولت (r.m.s) .

- وعدد ٢ رقيقة بسمك ١٠ ميكرومتر ، وإجهاد العزل ٤٨ ميجا ڤولت / متر : يترتب على ذلك أن يكون الجهد بين طرفي الرقائق ٩٦٠ ڤولت (r.m.s) .

النتيجة أن الجهد بين طرفي العنصر - المكون من ورق ورقائق - يساوي ١١٢٠ ڤولت (r.m.s) ، ولذلك يتم استخدام العازل المخلوط في الجهود المرتفعة ، حيث يكون معامل الفقد الكلي ٠,٥ × ١٠ ^-٣^ .


الرقائق العازلة
أقطاب
متبادلة
أقطاب معدنية
من الألومنيوم


الرقائق العازلة
أقطاب معدنية
من الألومنيوم
أقطاب نحاس

شكل (١-١)

جدول يبين خصائص رقائق البلاستيك المستخدمة فى صناعة المكثفات

النـــــوع	المجـاوزيـة	معامل الفقد × ١٠ -٣	اجهاد العزل Mv/m
بولى بروبيلين	٢,٢٥	٠,٥ (٢٥م)	أكبر من ٣٢
		٠,٤ (٨٠م)	
بولى كربونيت	٢,٧ – ٣,١	٠,٥ – ١٠ ٥٠ هرتز	١٢٠
		١٠٠ ١م هرتز	
بولى اثيلين تيرفثيليت	٣ – ٣,٢	٣٠ ٥٠ هرتز	١٠٠ / ١٦٠
		٥٠ ١ك هرتز	
		١٤٠ ١م هرتز	

يعمل بولى كربونيت وبولي اثيلين تيرفثيليت تحت ظروف خاصة ، مثل ارتفاع درجة الحرارة ، تيار مستمر ، ....

٢-١ تكوين وطبيعة عمل المكثف

يتكون المكثف الكهربى (*Electric Condenser*) فى أبسط أشكاله من مسطحين من مادة موصلة للكهرباء متساويي المساحة بقيمة معينة ، تفصل بينهما مادة عازلة ، قد تكون الفراغ ، ويتصل بكل من اللوحين طرف للتوصيل بالدائرة الكهربائية .

عند تعرض الفراغ (أو المادة العازلة) لفرق جهد كهربى يسلط على المكثف بين طرفى التوصيل ، يؤدى ذلك الي تخزين طاقة فى المجموعة . وفى هذه الحالة يعرف كل من اللوحين المعدنين بالقطب أو الالكترود (*Electrode*) كما يطلق على الفراغ العازل بينهما (أو المادة العازلة) العازل الكهربى أو الداى الكتريك (*Dielectric*) كما فى شكل (٢-١) والفراغ العازل بين الأسطح المعدنية يمكن أن يكون الهواء الجوى بصفة العموم حيث أنه فى جميع الحالات التى يكون فيها موصلان كهربيان منفصلين ، واقع عليهما فرق الجهد ، يتكون المكثف تلقائياً ، ويتم اختزان الطاقة ، كما يحدث عند مد الخطوط الهوائية لنقل القدرة الكهربائية من موقع إلى آخر .

ولكن فى حالة تصنيع المكثفات فان الهواء العازل يستبدل بمادة عازلة مناسبة ، يتم اختيارها طبقاً للصناعة ، ولنوع المكثف المطلوب تصنيعه ، وغالباً ما تكون هذه المادة العازلة عبارة عن طبقات متعددة . ويطلق على المادة العازلة التى تختزن الطاقة عند إستخدامها للعزل بين الأسطح المعدنية فى المكثفات الكهربائية اسم العازل الكهربى (*Dielectric*) وفى غير هذا الاستخدام فانه يطلق عليها اسم مادة عازلة ، ويكون الغرض منها فى هذه الحالة هو منع مرور التيار الكهربى .

وتسمى مقدرة المادة العازلة على اختزان الطاقة الكهروستاتيكية المجاوزية *Permittivity* أو ثابت العزل (*Dielectric Constant*) .

ويمكن حساب هذا الثابت بقسمة قيمة الطاقة المختزنة فى هذه المادة العازلة على قيمة الطاقة المختزنة فى نفس الظروف عند استبدال هذه المادة العازلة بالهواء الجوى .

فعلى سبيل المثال اذا قيل ان المجاوزية (*Permittivity*) لمادة عازلة معينة = ٦ فمعنى هذا أن هذه المادة يمكن أن تختزن ستة أضعاف الطاقة التى يمكن أن يختزنها الهواء الجوى .

إصطلاحات :

١ - المجاوزية النسبية أو ثابت العزل النسبى

Relative Permittivity Or Dielectric Constant (ε_r)

يعرف ε_r ببساطة بأنه عبارة عن قيمة المكثف للمادة العازلة مقارنة بقيمة المكثف لو تم استخدام الهواء ، بدلاً من المادة العازلة فى نفس الظروف . أى أن ثابت العزل للهواء الجوى يساوى الواحد الصحيح وينسب إليه جميع ثوابت المواد العازلة الأخرى .

٢ - مجاوزية الفراغ (ε_o) *Permittivity of Free Space*

تم اعتبار ثابت العزل للفراغ أو للهواء الجوى بالتقريب واحد صحيح ، وبناء على ذلك امكن تحديد ثابت العزل لباقى المواد العازلة منسوبة إلى الهواء . هذا بإعتبار نظام الوحدات العلمية (*c.g.s. System of Units*) ولكن فى النهاية يجب استخدام الوحدات العملية ، وهى الڤولت والفاراد والمتر ، مما يؤدى إلي ظهور ثابت آخر ε_o يطلق عليه اسم مجاوزية الفراغ (وهو الذى تختلف قيمته من نظام وحدات إلى آخر) ، وفى نظام الوحدات العملية المذكور ، وهو النظام المتفق على استخدامه عالمياً نجد أن

$$\varepsilon_o = \frac{10^{-9}}{36\pi} = 8.854 \times 10^{-12} \quad \text{Farads / meter} \quad \ldots (١-١)$$

٣ - المجاوزية الكلية أو المطلقة (ε) *Total or Absolute Pemittivity*

خاصية المادة العازلة يمكن تحديدها من النسبة

$$\varepsilon = \frac{\text{Electric Flux Density}}{\text{Electric Field Intensity}} = \frac{\text{كثافة خطوط المجال الكهربى}}{\text{شدة المجال الكهربى}} \quad (١-٢)$$

وعند استخدام نظام الوحدات العلمية تكون قيمة هذه النسبة فى الفرغ (أو فى الهواء الجوى) بالتقريب هى الوحدة ، أى أنه فى هذه الحالة $\varepsilon_r = \varepsilon$ فتكون قيمة ε_o أيضاً الوحدة ، ولكن عند إستخدام الوحدات العملية نجد أن

$$\varepsilon = \varepsilon_o \; \varepsilon_r \quad \ldots\ldots\ldots (١-٣)$$

حيث

ε_o = المجاوزية للفراغ وقيمتها 8.854×10^{-12} وهى عبارة عن قيمة مجاوزية الفراغ

الكليه في هذه الحالة

ε_r = المجاوزية النسبية

جدول (١-١) يوضح قيم المجاوزية النسبية ε_r لبعض المواد

المادة	المجاوزية النسبية
الهواء	١
الخزف	٣٠٠٠
الزجاج	٧
زيت معدني	٢٫١٣
بولي بروبيلين	٢٫٢
بوليستر	٢٫٩

٤ - اجهاد العازل *Dielectric Stress*

or Electric Field Intensity

or Electric Potential Gradient

لما كان الجهد الموضوع على المادة العازلة يختلف طبقاً لسمك هذه المادة ونوعها ، فإنه يلزم عند تصميم المكثفات أن يذكر اعلى قيمة للجهد يمكن أن يوضع على المادة العازلة وتتحمله دون حدوث انهيار لها .

ويحسب قيمة الاجهاد الكهربي الناشئ من العازل نتيجة تسليط جهد كهربي عليه (بالوحدات العملية) على النحو التالي :

$$\text{Dielectric Stress} = \frac{\text{Voltage across the dielectric}}{\text{Thickness of the dielectric}} \quad Mv/m \quad \ldots (١-٤)$$

وتكون وحدات اجهاد العازل بالميجافولت/متر أو كيلو فولت/سم أو فولت/ميكرومتر على حسب وحدات الجهد وسمك العازل ، التي تكون بوحدات الفولت للجهد ، ووحدات المتر للسمك .

جدول (٢-١) يوضح قيم اجهاد العازل (Mv/m - d . c) لبعض المواد عند استخدام التيار المستمر .

المـــادة	اجهاد العازل Mv/m
الهـــواء	٤ - ٩
خــــزف	٤ر٩
زيت معــدنى	٥ر٧٦
بولى بروبيلين	٦٥٠
بوليســـتر	١٥٨

٥ - الشحنة الكهربائية أو التدفق الكهربى *Electric Charge (Q) or Electric Flux*

عند استخدام الوحدات العملية (الأمبير - الڤولت - الكولوم - المتر - الثانية) نجد أن (Q) قيمة الشحنة لمكثف يمر به تيار قيمته (I) لمدة (t) ثانية ، بالكولوم :

$$Q = I\,t \qquad \text{Coulombs} \qquad \ldots\ (1-5)$$

تعرف كثافة التدفق الكهربى (D) *(Electric Flux density)* كولوم لكل متر مربع من العلاقة

$$D = \frac{Q}{A} \qquad C/m^2 \qquad \ldots\ (1-6)$$

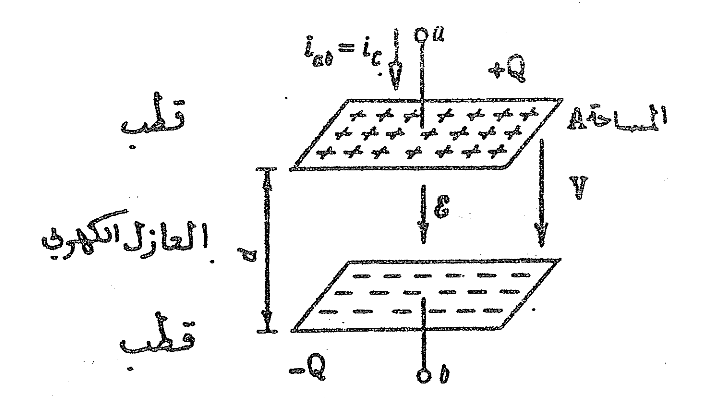
حيث

Q = الشحنة الكهربائية أو التدفق الكهربى بالكولوم

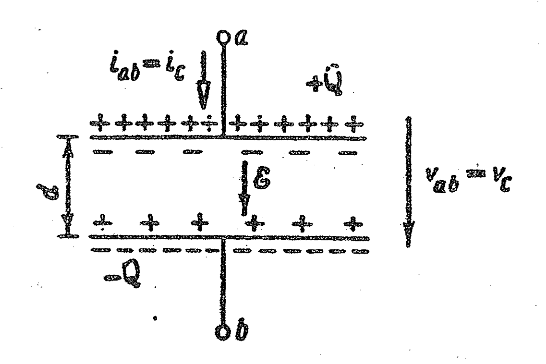
A = مساحة المادة العازلة بالمتر المربع . كما فى شكلى (٣-١) ، (٤-١)

٦ - سعة المكثف *Capacitance of a Condenser (C)*

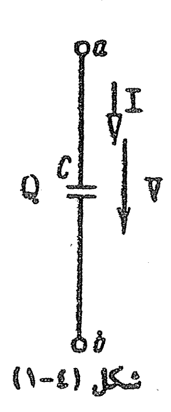
فى المواصفات البريطانية رقم ٣٧٦٣ يعرف الفاراد (F) (وحدة سعة المكثف) بأنه سعة



شكل (٢-١)



شكل (٣-١)



شكل (٤-١)

مكثف بين لوحين اختلاف الجهد بينهما ١ ڤولت عندما تكون الشحنة الكهربية المتدفقة بينهما ١ كولوم (باستخدام الوحدات العملية) ، وبذلك يكون :

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{Farads} \qquad \ldots\ldots (١-٧)$$

حيث

C = السعة بالفاراد

Q = الشحنة بالكولوم

V= اختلاف الجهد بالڤولت

فى الاستخدامات الكهربية تعتبر وحدة الفاراد كبيرة جداً ولذلك يستخدم عادة الوحدات الآتية للفاراد : .

pF = بيكوفاراد = ١٠ -١٢ فاراد

μF= ميكروفاراد = ١٠-٦ فاراد

جدول (٣-١) يوضح قدرة وسعة مكثفات جهد منخفض ٤٠٠ ڤولت ـ ٥٠ هرتز

تتناسب سعة المكثف تناسباً طردياً مع مساحة اللوحين المتوازين فيه ، وتناسباً عكسياً مع المسافة بينهما بحيث نجد أن :

سعة مكثف ، عبارة عن لوحين متوازين ، كالآتى :

$$C = \frac{\xi A}{d} \quad \text{Farads} \qquad \ldots\ldots (١-٨)$$

حيث

A = مساحة المجال الكهربى بالمتر المربع (وهى تتحدد بمساحة أحد اللوحين المتوازين)

d = المسافة بين اللوحين بالمتر .

ξ = المجاوزية الكلية للمادة العازلة بين اللوحين .

اذا كان المكثف عبارة عن عدد من الألواح ، التى تفصلها مسافات متساوية ، كل منها d ، نجد أن السعة عبارة عن :

$$C = \frac{\xi A}{d} (N - 1) \text{ Farads} \qquad \ldots\ldots (١-٩)$$

حيث

N عدد الألواح المستخدمة ، باعتبار أن المادة العازلة بين الألواح من نوع واحد .

أما إذا اختلفت المسافات بين الألواح ، فأصبحت d_1 , d_2 , d_3 ، واختلف نوع المادة العازل ، فأصبحت المجاوزية للأنواع على الترتيب هى ζ_3 ، ζ_2 ، ζ_1 نجد أن :

$$C = \frac{\zeta_0 \ A}{\frac{d_1}{\zeta_{r1}} + \frac{d_2}{\zeta_{r2}} + \frac{d_3}{\zeta_{r3}}} \quad Farads \qquad .... (١٠-١-١)$$

حيث

$$\zeta_1 = \zeta_0 \ \zeta_{r1}$$

$$\zeta_2 = \zeta_0 \ \zeta_{r2}$$

$$\zeta_3 = \zeta_0 \ \zeta_{r3}$$

جدول (٣-١)

قدرة مكثفات جهد منخفض ٤٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز- ثلاثية الاوجه

القدرة ك . ڤار	السعة ميكرو فاراد	التيار أمبير
٣	٣ × ١٩٫٥	٣ × ٤٫٣٣
٤	٣ × ٢٦٫٥	٣ × ٥٫٧٧
٥	٣ × ٣٣٫٥	٣ × ٧٫٢٢
٧٫٥	٣ × ٤٩٫٨	٣ × ١٠٫٨٢
١٠	٣ × ٦٦٫٣	٣ × ١٤٫٤٣
١٢٫٥	٣ × ٨٢٫٩	٣ × ١٨٫٠٤
١٥	٣ × ٩٩٫٦	٣ × ٢١٫٧
٢٠	٣ × ١٣٣	٣ × ٢٨٫٨
٢٥	٣ × ١٦٦	٣ × ٣٦٫١
٣٠	٣ × ٢٠٠	٣ × ٤٣٫٤
٣٥	٣ × ٢٣٣	٣ × ٥٠٫٦
٤٠	٣ × ٢٦٦	٣ × ٥٧٫٦
٥٠	٣ × ٣٣٣	٣ × ٧٢٫٢
٦٠	٣ × ٤٠٠	٣ × ٨٦٫٨
٧٥	٣ × ٤٩٩	٣ × ١٠٨
٩٠	٣ × ٦٠٠	٣ × ١٣٠
١٠٠	٣ × ٦٦٦	٣ × ١٤٤

الباب الثانى

تحسين معامل القدرة باستخدام المكثفات العادية والمتزامنة

١-٢ تحسن معامل القدرة :

من المعلوم أن القدرة في حالة المنظومات ثلاثية الأوجه =

$\sqrt{3}$ × شدة التيار الخطى × الجهد الخطى × معامل القدرة

فاذا ثبتت فرضاً شدة التيار (باعتبار بقاء نفس الجهد الخطى) فان العلاقة بين القدرة ومعامل القدرة تصبح كما فى شكل (١-٢) . وهذا معناه أن القدرة المستفاد بها تقل بشدة عند انخفاض معامل القدرة ، فى حين اذا ثبتت قيمة القدرة المطلوبة ، وأمكن تغيير معامل القدرة ، نجد كما هو مبين فى شكل (٢-٢) أن التيار المطلوب والذى يتم على أساسه تصميم مقاطع الكابلات والمحولات و ... ، يزداد بصورة مطردة ، ويكون أقل ما يمكن عند معامل قدرة يساوى الواحد الصحيح ، مما يعنى أن شدة التيار تزداد لنفس القدرة مع انخفاض معامل القدرة .

هذا ، ويمكن كتابة المعادلة السابقة على النحو الآتى :

القدرة الفعالة = القدرة الظاهرة × معامل القدرة

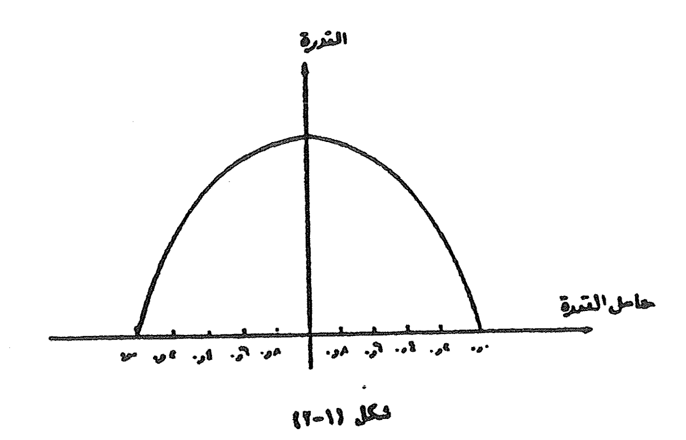
وحيث أن القدرة الفعالة لا تساوى القدرة الظاهرة ، فان هناك قدرة غير فعالة مستهلكة . لتحسين معامل القدرة يجب تخفيض الزاوية Φ أى يجب اضافة قدرة غير فعالة للشبكة الكهربائية ، شكل (٣-٢) ، (يعرف معامل القدرة بانه جيب تمام الزاوية Φ) .

ولكن أين تستهلك القدرة غير الفعالة فى الشبكة ، وكيف يمكن تعويضها ؟

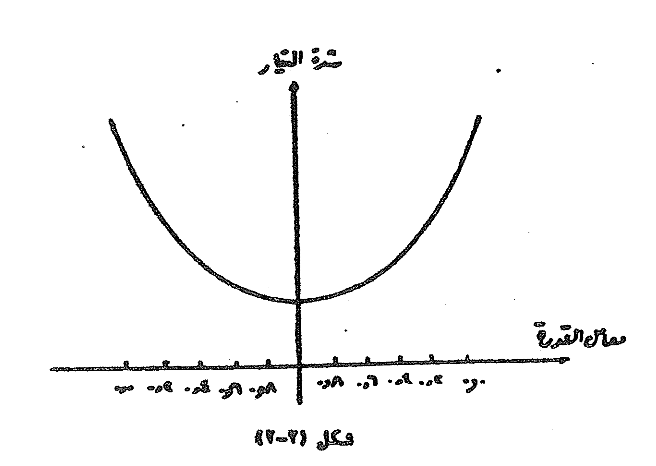
وتكون اجابة هذا السؤال :

توجد معدات كهربائية تحتاج لقدرة غير فعالة لتشغيلها ، منها :

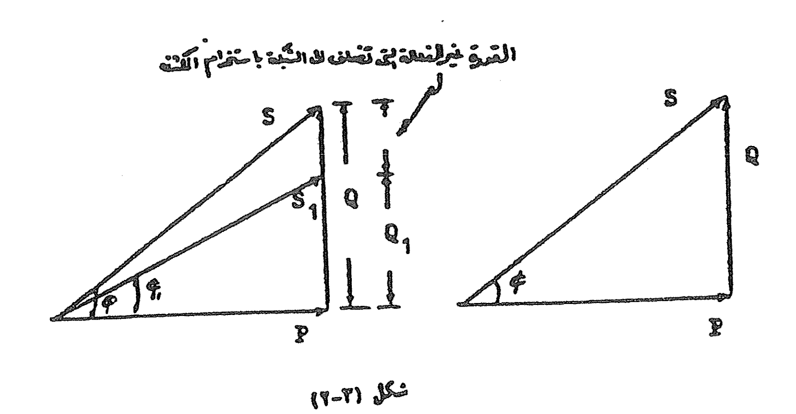
- المحركات التأثيرية ، وهى تحتاج لقدرة غير فعالة للحفاظ على وجود المجال المغناطيس الأساسى لتشغيلها . وتكون القيمة المتوسطة للقدرة غير الفعالة ، المطلوبة للمحركات غير المتزامنة ، عبارة عن كيلو ڤار واحد قدرة غيرفعالة ، على وجه التقريب ، لكل كيلو وات واحد قدرة فعالة .
- الملفات الخانقة ، ومفاتيح لمبات التفريغ ، تحتاج ٢ كيلو ڤار قدرة غير فعالة فى مقابل كيلووات واحد قدرة فعالة .



شكل (١-٢)



شكل (٢-٢)



شكل (٣-٢)

- أجهزة تقويم اتجاه التيار تحتاج واحد كيلو ڤار مقابل واحد كيلووات .

- وعموماً فإن المحركات والكابلات المحملة والخطوط جميعها تحتاج لقدرة غير فعالة على حسب الظروف .

جدول (١-٢)

يبين معامل القدرة فى بعض المعدات المستخدمة فى الصناعة :

الصناعة	معامل القدرة
١ - صناعة النسيج	٦٥ر٠ - ٧٥ر٠
٢ - الصناعات الكيماوية	٧٥ر٠ - ٨٥ر٠
٣ - اللحام بالقوس	٣٥ر٠ - ٤ر٠
٤ - الدرفلة	٣ر٠ - ٧٥ر٠
٥ - أحمال منزلية (ثلاجات - تكييف)	٧٢ر٠ - ٧٥ر٠

عموماً،نجد أن الآلات أو المعدات التى لها معامل قدرة منخفضة هى :

جميع أنواع المحركات التأثيرية - مقومات التيارات ذات القدرة العالية - محولات التوزيع والقدرة - منظمات الجهد - ماكينات اللحام - اللحام بالقوس الكهربى - الأفران التأثيرية - الملفات الخانقة - اللمبات الفلورسنت .

جميع الآلات التى لها معامل قدرة منخفض تستهلك قدرة غير فعالة تقدر قيمتها بالكيلوڤار (*Kvar*) (وهى عبارة عن المركبة الرأسية للقدرة الظاهرة التى تقدر قيمتها بالكيلو ڤولت أمبير *KVA*) .

أمثلة نموذجية لقيمة القدرة غير الفعالة لبعض المعدات :

١ - المحركات

قدرة المحرك بالحصان (١٥٠٠ لفه / دقيقة)	القدرة غير الفعالة التى يحتاجها فى حالة اللاحمل Kvar	القدرة غير الفعالة التى يحتاجها فى حالة الحمل Kvar
١	٥ر٠	٧ر٠
٥	٩ر١	٥ر٢
١٠	٦ر٣	٨ر٤
٥٠	٢٠	٢٧
٢٠٠	٥٨	٨٩

٢ - المحولات :

قدرة المحول ك.ف.أ (١٢ ك.ف)	القدرة غير الفعالة التى يحتاجها فى حالة اللاحمل Kvar	القدرة غير الفعالة التى يحتاجها فى حالة الحمل Kvar
٢٠٠	٦ر٣	٥٥ر١٣
٥٠٠	٥ر١٣	٣ر٣٢
٦٣٠	١٧	٧ر٤٠

يتضح مما سبق مدى استهلاك القدرة غير الفعالة ، التى تنشأ بسبب انخفاض معامل القدرة ، ولتحسين معامل القدرة يمكن استخدام معدات لتعويض هذا النقص ، على النحو الآتى :

١ - المكثفات المتزامنة :

وهى عبارة عن محركات متزامنة ، *(Synchronous Motors)* ، توضع على القضبان فى مركز ثقل الحمل وتدار بدون حمل مع تنبيه زائد *(Over Excitation)* ، ويطلق عليها اسم المكثفات المتزامنة *(Synchronous Condensers)* من عيوب استخدام هذه الطريقة ارتفاع التكاليف الثابتة مما يجعلها غير اقتصادية ، بالاضافة إلى الاحتياج المستمر لصيانة الأجزاء المتحركة ، وهذا يضيف أعباء مادية كثيرة .

٢ - المكثفات :

ليس لها أى من هذه العيوب ، للمحافظة عليها وصيانتها . ومن مميزاتها انخفاض تكاليف الانشاء - لا تحتاج لاى اساسات حيث يمكن تثبيتها على الحائط ، أو على رف علوى ، والفقد فيها صغير ، ولا تحتاج فى تركيبها لتعطيل المصدر ، أو تعطيل التشغيل .

والخلاصة أن تحسين معامل القدرة يتم عن طريق تعويض القدرة غير الفعالة *Kvar* ، المطلوبة للمنظومة ، بوساطة مصدر خارجي - هذا المصدر هو مكثف يركب على التوازى ، مع الحمل المراد تحسين معامل القدرة له .

مميزات تحسين معامل القدرة فى النظم الكهربية :

١ - الاعفاء من دفع غرامة انخفاض معامل القدرة وفقاً لما هو منصوص عليه فى التعاقد مع شركة الكهرباء .

٢ - تخفيض الفقد فى الكابلات والخطوط ، وهذا هو ما يدعو شركة الكهرباء الى النص على الالتزام بإجرائه فى التعاقد معها .

٣ - زيادة قدرة الخط عند نفس الفقد ، وهو مطلب حيوى بالنسبة للشركة .

٤ - زيادة القدرة المتاحة فى المحولات المغذية للشبكة ، وهذا ايضاً مطلب للشركة .

٥ - تحسين جهد الشبكة .

هذا ، ويعتمد اختيار المكثفات على عدة عوامل أساسية هى :

١ - الحمل بالكيلووات أو الأمبير لكل وجه .

٢ - جهد وتردد المنظومة .

٣ - شكل المنظومة : أحادى - ثنائى - ثلاثى .

٤ - معامل القدرة الأصلى .

٥ - معامل القدرة الجديد ، المطلوب على أساس مدى التحسين المراد لمعامل القدرة .

٦ - تفاصيل تعريفة الهيئة للتوريد .

٧ - الطريقة المستخدمة فى اجراء القياسات المختلفة .

كما يجب مراعاة الآتى ، عند تركيب المكثفات المناسبة :

١ - يجب تركيب المكثفات فى أماكن لا تتعرض لتأثيرات ميكانيكية .

٢ - اذا تم غسل المكثفات بالماء المضغوط ، يجب مراعاة عدم تجمع الماء فى صندوق التوصيلات ، حتى لا تنشأ حالة قصر .

٣ - فى حالة توفر أجواء ذات رطوبة عالية فى المبنى الذى يحتوى على المنظومة ، يجب أن تكون المكثفات من النوع الذى يصلح للتركيب خارج المبنى ، وذلك حتى لا تتعرض للصدأ نتيجة للرطوبة الشديدة .

٤ - يؤدى ارتفاع درجة الحرارة الى نقص فى عمر المادة العازلة ، وبالتالى نقص فى عمر المكثفات ، لذا يجب مراعاة درجة الحرارة فى الأجواء المحيطة بالمكثفات ، بحيث تكون من صفر إلى ٤٠°م ، على أكثر تقدير .

عندما يكون المكثف موصلاً على التوازى

يعمل المكثف على التوازى مع الحمل ، لتزويد الشبكة الكهربائية عند النقطة التى يوصل عندها المكثف بقدرة كيلوفار متقدمة *(Leading Kvar)* ، تكون مضادة ومتساوية مع جزء (أو كل) من القدرة بالكيلوفار المتأخرة *(Lagging Kvar)* للحمل ، على حسب درجة تحسين معامل القدرة .

يكون تمثيل المكثف الموصل علي التوازى مع الشبكة كما فى الشكل (٤-٢) .

شكل (٥-٢) يمثل الدائرة المكافئة المبسطة لشكل (٤-٢) حيث

V_s= جهد نقطة الارسال *(Sending end)*

V_r= جهد نقطة الاستقبال *(Receiving end)*

ويلاحظ أن تيار الخط (I_L) يصبح مساوياً لمجموع تيارى المكثف (I_C) ، وتيار الحمل (أوالإستقبال) (I_r) ، كما فى شكل (٥-٢) ، بعد إستخدام المكثف ، حيث :

$$\bar{I}_L = \bar{I}_c + \bar{I}_r \qquad \ldots\ldots (٢-١)$$

عند عدم وجود المكثف يكون تيار الخط (I_L) مساوياً تيار الحمل (I_r) ، الذى يحلل الى مركبتين هم ($I_{(active)}$, $I_{(reactive)}$) حيث تكون زاوية الإختلاف المرحلى Φ. وبعد أن يتم تركيب المكثف على التوازى مع الحمل ، يصبح التيار الداخل عند نقطة الإستقبال عبارة عن I_L ، وهو مجموع تيارى الحمل والمكثف كما سبق ذكره . وفى هذه الحالة يحلل التيار I_L إلى مركبتين ($I_{(active)_1}$, $I_{(reactive)_1}$) حيث تكون زاوية الإختلاف المرحلى قد أصبحت Φ_1 . وهذا يعنى أن استخدام المكثف قد تسبب فى وجود مركبة التيار I_c المتقدمة مرحلياً ، وهى التى أدت إلى تعويض جزء من تيار الحمل المتأخر ، وهو الفرق بين ($I_{(reactive)} - I_{(reactive)_1}$).

يلاحظ مما سبق ما يأتى ، بالنسبة للخطوط المغذية التى يمر فيها التيار الجديد I_L :

١ - وجود المكثف لم يؤثر فى قيمة مركبة التيار الفعالة (I_{active}) .

٢ - قيمة مركبة التيار غير الفعالة ($I_{(reactive)_1}$) أصبحت بعد تركيب المكثف أقل منها قبل تركيبه .

٣ - زاوية الإختلاف المرحلى للتيار فى حالة وجود المكثف أصغر منها فى حالة عدم وجود المكثف $\Phi_1 < \Phi$ ، وبالتالى فإن معامل القدرة جتا Φ_1 يكون أكبر من معامل القدرة جتا Φ .

التيار المار فى المكثف I_c عبارة عن

$$I_c = \frac{V_r}{X_c} \qquad \ldots\ldots (٢-٢)$$

حيث :

$$X_c = \frac{1}{\omega c}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = 50\,Hz$$

من شكل (٥-٢) تكون العلاقة بين جهد الارسال (عند الينبوع) وجهد الاستقبال

كالآتى :

$$V_s = V_r + I_L (R_L + jX_L)$$

$$I_L = jI_C + I_r$$

$$V_s = V_r + (jI_c + I_r)(R_L + jX_L)$$

$$\therefore V_s = V_r + jI_C R_L - I_C X_L + I_r R_L + jI_r X_L \quad \text{..................} \quad (٢-٣)$$

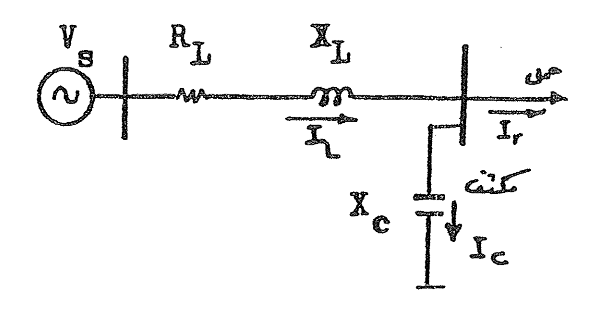
يمثل شكلى (٦-٢) ، (٧-٢) مخطط المتجهات لهذه المعادلة بإعتبار V_r هى المرجع (*Reference*) .

حساب قدرة المكثفات

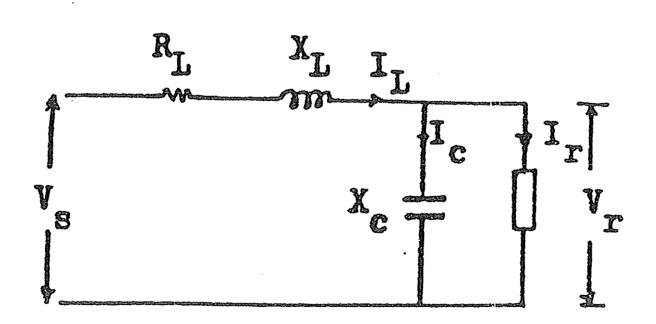
شكل (٨-٢) يوضح شبكة كهربائية مبسطة قبل ، وبعد ، تركيب مكثفات على التوازى مع الحمل .

يتم حساب قدرة المكثفات اللازم تركيبها على شبكة كهربائية بإحدى الطرق الآتية :

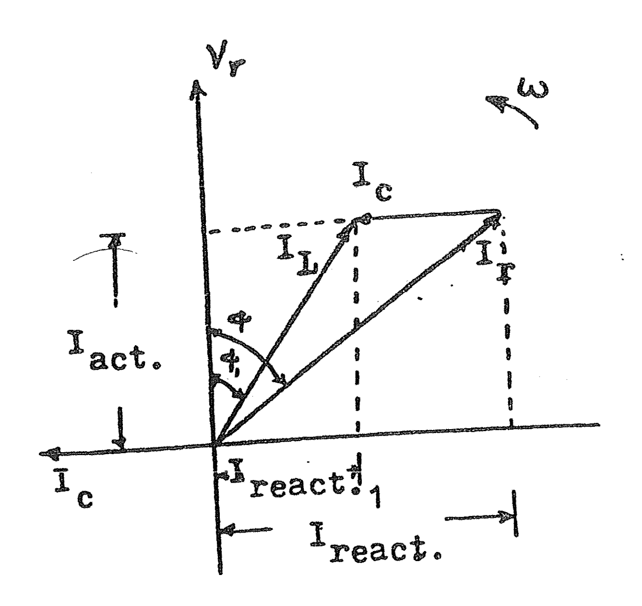
- بإستخدام خرائط بيانية أشكال (٩-٢) ، (١٠-٢) ، (١١-٢) ، (١٢-٢) ، (١٣-٢) ، (١٤-٢) .
- بإستخدام جداول أرقام (٢-٢) ، (٣-٢)
- بالحسابات من المبادئ الأولية لتعريف معامل القدرة .



شكل (٤-٢)

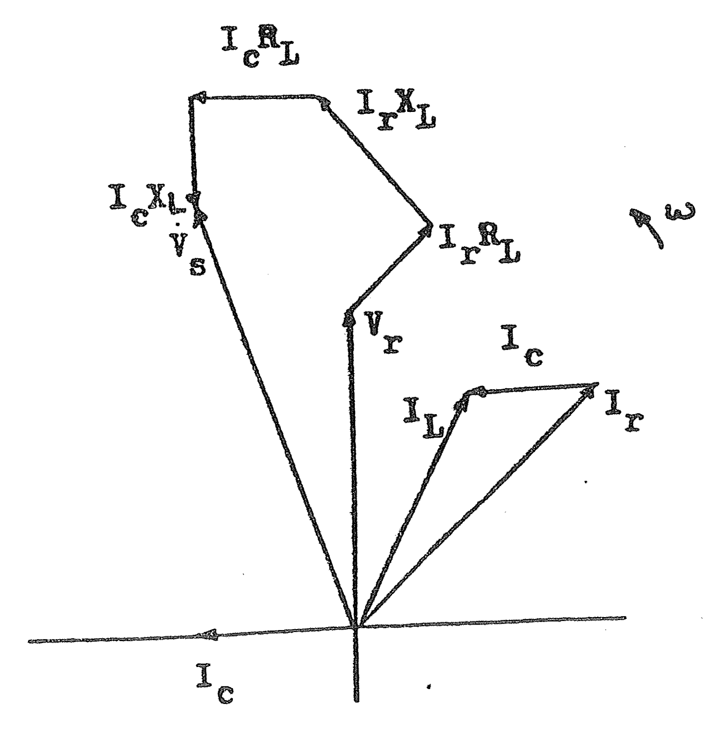


شكل (٥-٢)



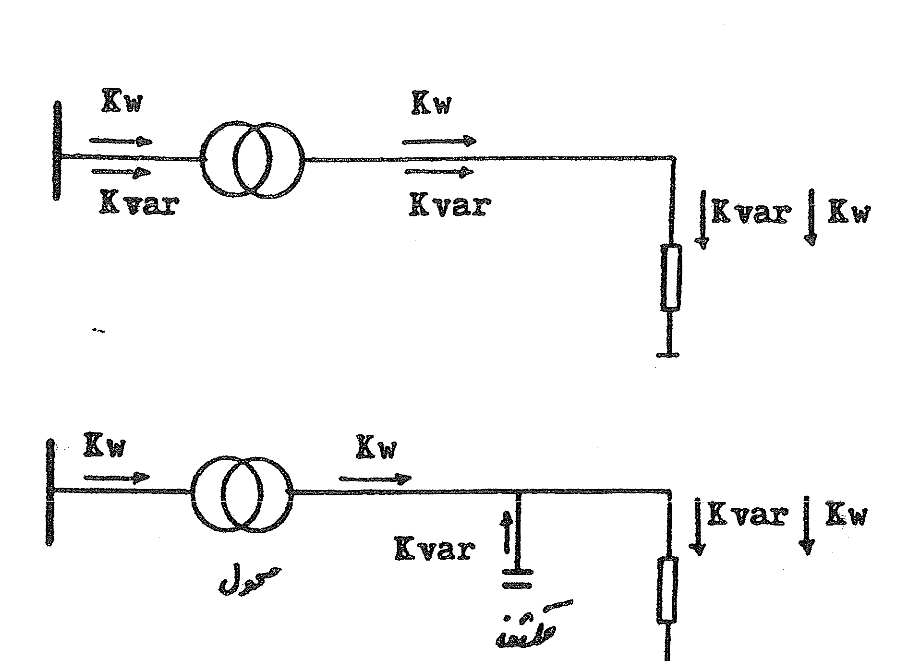
Vr
ω
Ic
IL
Ir
Iact.
Ic
Ireact.

شكل (٦-٢)

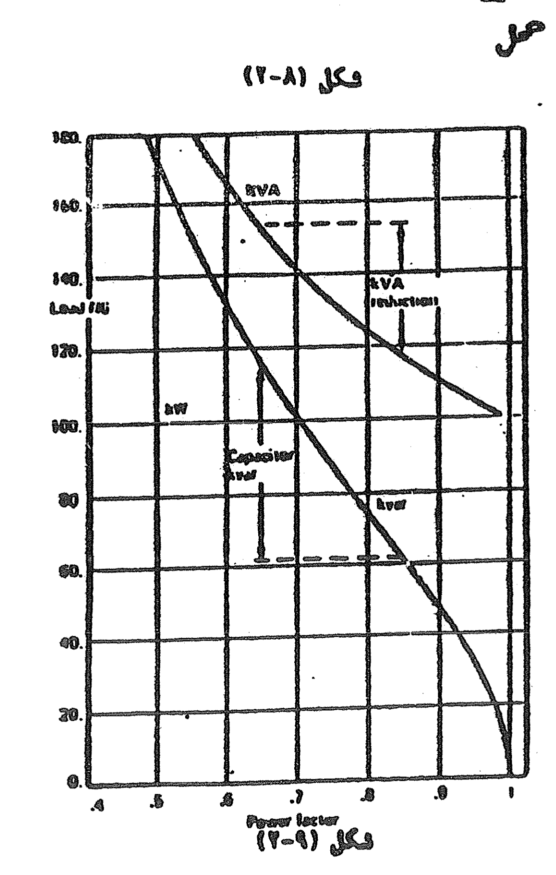


IcRL
IrXL
IcXL
Vs
ω
IrRL
Vr
Ic
IL
Ir
Ic

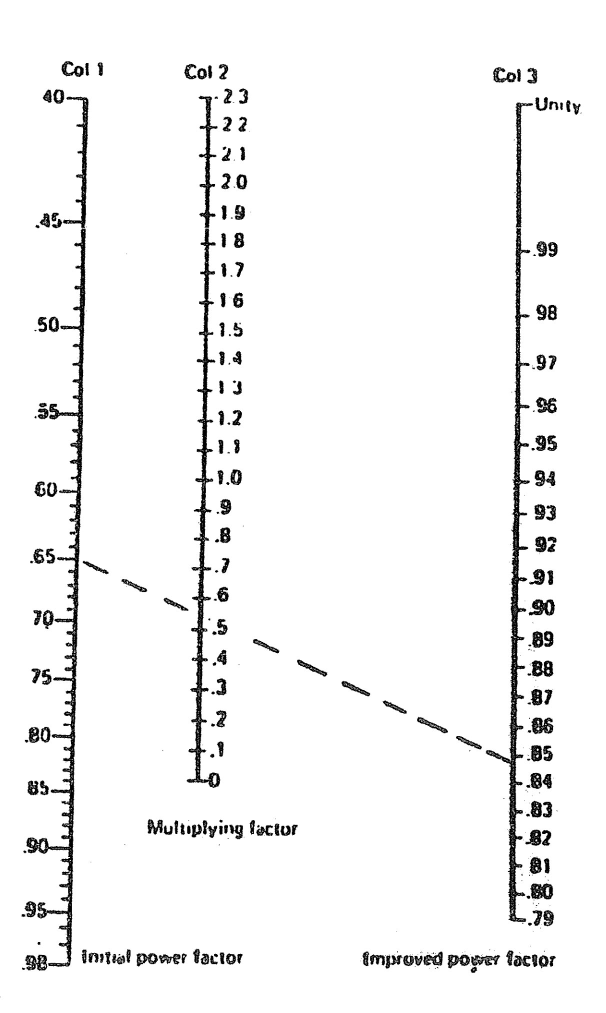
شكل (٧-٢)


Kw
Kvar
Kw
Kvar
Kvar
Kw
Kw
Kw
Kvar
Kvar
Kw
محول
مكثفة
حمل

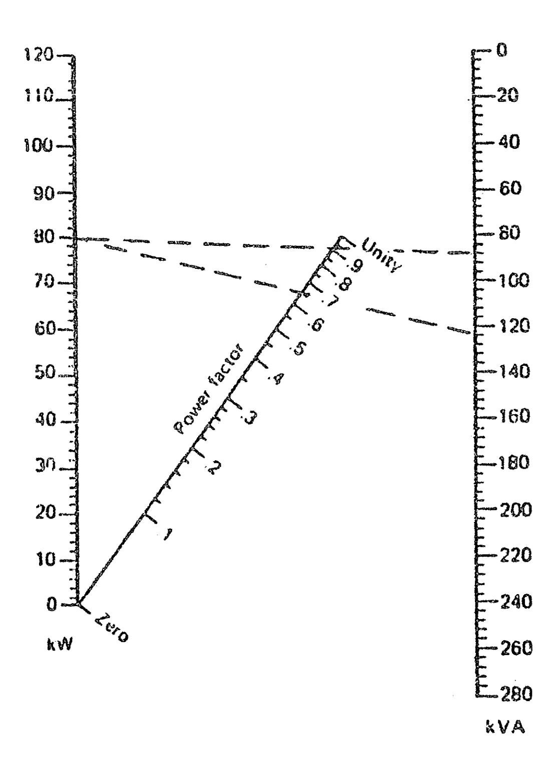
شكل (٢-٨)


kVA
kVA reduction
Load (%)
kW
Capacitor kvar
kvar
Power factor

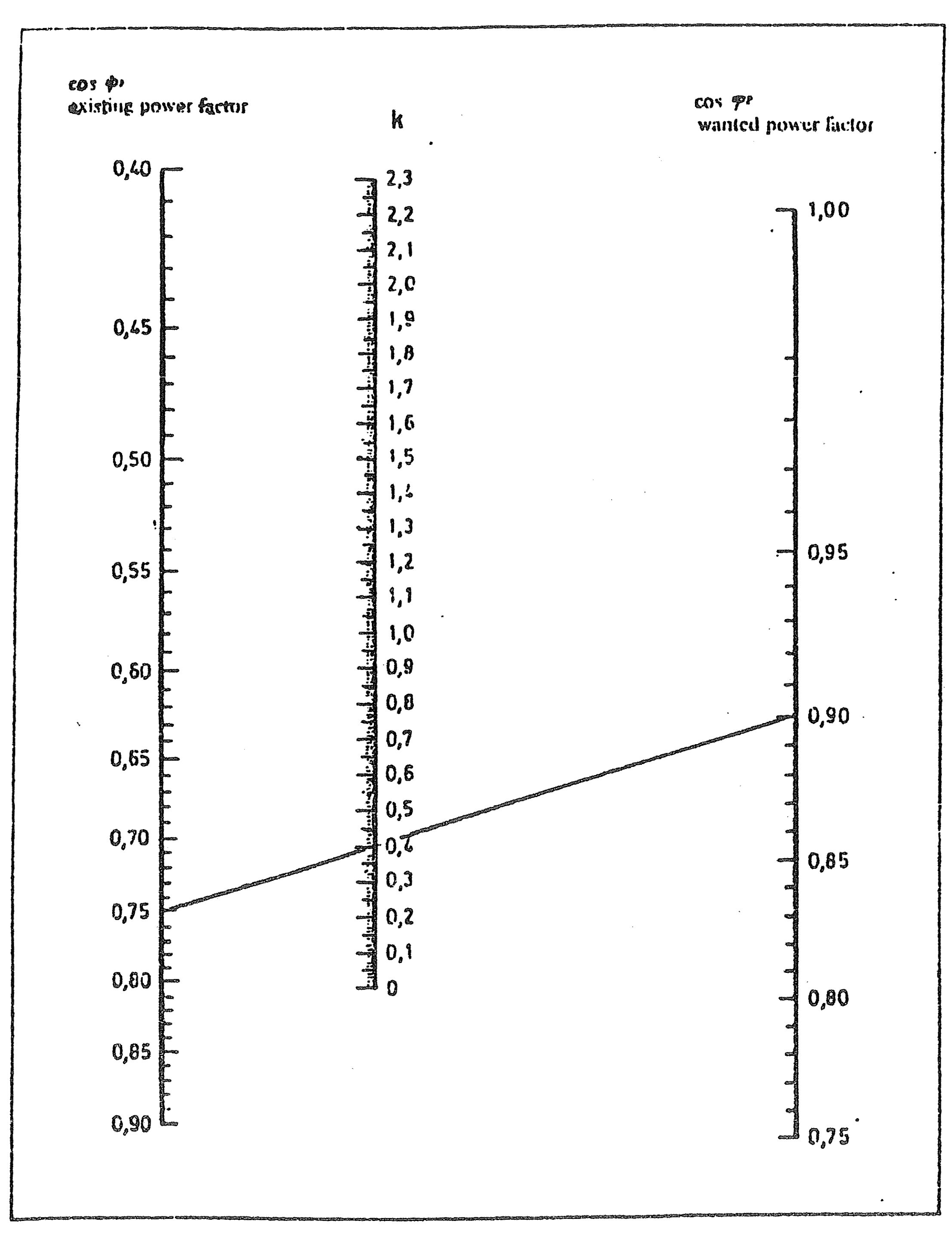
شكل (٢-٩)


Col 1
Col 2
Col 3
40
.45
.50
.55
.60
.65
.70
.75
.80
.85
.90
.95
.98
2.3
2.2
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
0
Unity
.99
.98
.97
.96
.95
.94
.93
.92
.91
.90
.89
.88
.87
.86
.85
.84
.83
.82
.81
.80
.79
Multiplying factor
Initial power factor
Improved power factor

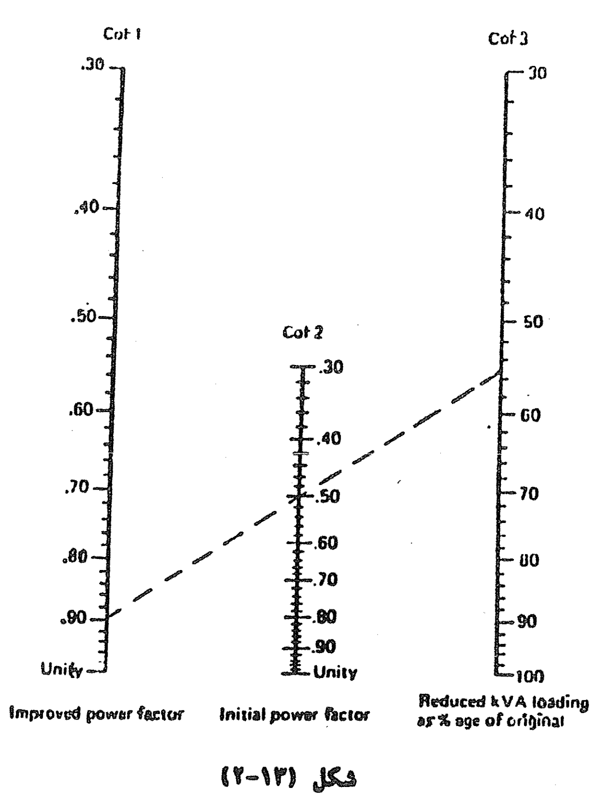
شكل (١٠-٢)


120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
kW
Zero
Power factor
1
2
3
.4
.5
.6
.7
.8
.9
Unity
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
kVA

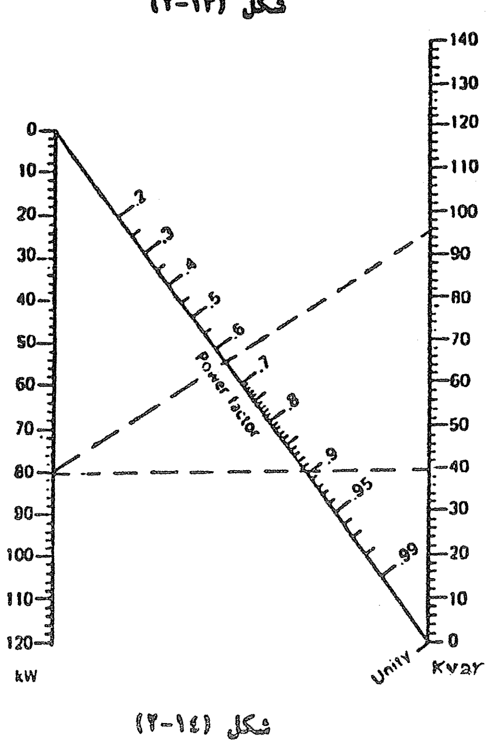
شکل (۱۱-۲)


cos φ۱
existing power factor
k
cos φ۲
wanted power factor
0,40
0,45
0,50
0,55
0,60
0,65
0,70
0,75
0,80
0,85
0,90
2,3
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
1,00
0,95
0,90
0,85
0,80
0,75

شکل (۱۲-۲)



شكل (١٣-٢)



شكل (١٤-٢)

جدول (٢-٢)

Power Factor Multipliers

Requeired Capacitor kvar =Multipliers x Load Kw

Desired Power Factor In Per Cent (columns) / Original Power Factor In Per Cent (rows)

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.442	1.481	1.529	1.590	1.732
51	.937	.962	.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
52	.893	.919	.945	.971	.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
53	.850	.876	.902	.928	.954	.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
54	.809	.835	.861	.887	.913	.939	.966	.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
55	.769	.795	.821	.847	.873	.899	.926	.952	.979	1.007	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
56	.730	.756	.782	.808	.834	.860	.887	.913	.940	.968	.996	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
57	.692	.718	.744	.770	.796	.822	.849	.875	.902	.930	.958	.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
58	.655	.681	.707	.733	.759	.785	.812	.838	.865	.893	.921	.949	.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
59	.618	.644	.670	.696	.722	.748	.775	.801	.878	.856	.884	.912	.939	.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
60	.584	.610	.636	.662	.688	.714	.741	.767	.794	.822	.850	.878	.905	.939	.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
61	.549	.575	.601	.627	.653	.679	.706	.732	.759	.787	.815	.843	.870	.904	.936	.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
62	.515	.541	.567	.593	.619	.645	.672	.698	.725	.753	.781	.809	.836	.870	.902	.936	.974	1.014	1.062	1.123	1.265
63	.483	.509	.535	.561	.507	.613	.640	.666	.693	.721	.749	.777	.804	.838	.870	.904	.942	.982	1.030	1.091	1.233
64	.450	.476	.502	.528	.554	.580	.607	.633	.660	.688	.716	.744	.771	.805	.837	.871	.909	.949	.997	1.058	1.200
65	.419	.445	.471	.497	.523	.549	.576	.602	.629	.657	.685	.713	.740	.774	.806	.840	.878	.918	.966	1.027	1.169
66	.388	.414	.440	.466	.492	.518	.545	.571	.598	.626	.654	.682	.709	.743	.775	.809	.847	.887	.935	.996	1.138
67	.358	.384	.410	.436	.462	.488	.515	.541	.568	.596	.624	.652	.679	.713	.745	.779	.817	.857	.905	.966	1.108
68	.329	.355	.381	.407	.433	.459	.486	.512	.539	.567	.595	.623	.650	.684	.716	.750	.786	.828	.876	.937	1.079
69	.299	.325	.351	.377	.403	.429	.456	.482	.507	.537	.565	.593	.620	.654	.866	.720	.758	.798	.840	.907	1.049
70	.270	.296	.322	.348	.374	.400	.427	.453	.480	.508	.536	.564	.591	.625	.657	.691	.729	.769	.811	.878	1.020
71	.242	.268	.294	.320	.346	.372	.399	.425	.452	.480	.508	.536	.563	.597	.629	.663	.701	.741	.783	.850	.992
72	.213	.239	.265	.291	.317	.343	.370	.396	.423	.451	.479	.507	.534	.568	.600	.634	.672	.712	.754	.821	.963
73	.186	.212	.238	.264	.290	.316	.343	.369	.396	.424	.452	.480	.507	.541	.573	.607	.645	.685	.727	.794	.936
74	.159	.185	.211	.237	.263	.289	.316	.342	.369	.397	.425	.453	.480	.514	.546	.580	.618	.658	.700	.767	.909
75	.132	.158	.184	.210	.236	.262	.289	.315	.342	.370	.398	.426	.453	.487	.519	.553	.591	.631	.673	.740	.882
76	.105	.131	.157	.183	.209	.235	.262	.288	.315	.343	.371	.399	.426	.460	.492	.526	.564	.604	.652	.713	.855
77	.079	.105	.131	.157	.183	.209	.236	.262	.289	.317	.345	.373	.400	.434	.466	.500	.538	.578	.620	.687	.829
78	.053	.079	.105	.131	.157	.183	.210	.236	.263	.291	.319	.347	.374	.408	.440	.474	.512	.552	.594	.661	.803
79	.026	.052	.078	.104	.130	.156	.183	.209	.236	.264	.292	.320	.347	.381	.413	.447	.485	.525	.567	.634	.776
80	.000	.026	.052	.078	.104	.130	.157	.183	.210	.238	.266	.294	.321	.355	.387	.421	.459	.499	.541	.608	.750
81	....	.000	.026	.052	.078	.104	.131	.157	.184	.212	.240	.268	.295	.329	.361	.395	.433	.473	.515	.582	.724
82	....	....	.000	.026	.052	.078	.105	.131	.158	.186	.214	.242	.269	.303	.335	.369	.407	.447	.489	.556	.698
83	....	....	....	.000	.026	.052	.079	.105	.132	.160	.188	.216	.243	.277	.309	.343	.381	.421	.463	.530	.672
84	....	....	....	....	.000	.026	.053	.079	.106	.134	.162	.190	.217	.251	.283	.317	.355	.395	.437	.504	.645
85	....	....	....	....	....	.000	.027	.053	.080	.108	.136	.164	.191	.225	.257	.291	.329	.369	.417	.478	.620
86	....	....	....	....	....	....	....	.026	.053	.081	.107	.137	.167	.198	.230	.265	.301	.343	.390	.451	.593
87	....	....	....	....	....	....	....	....	.027	.055	.082	.111	.141	.172	.204	.238	.275	.317	.364	.425	.567
88	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.028	.056	.084	.114	.145	.177	.211	.248	.290	.337	.398	.540
89	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.028	.056	.086	.117	.149	.183	.220	.262	.309	.370	.512
90	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.028	.058	.089	.121	.155	.192	.234	.281	.342	.484
91	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.030	.061	.093	.127	.164	.206	.253	.314	.456
92	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.031	.063	.097	.134	.176	.223	.284	.426
93	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.032	.066	.103	.145	.192	.253	.395
94	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.034	.071	.113	.160	.221	.363
95	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.037	.079	.126	.187	.328
96	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.042	.089	.150	.292
97	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.047	.108	.251
98	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.061	.203
99	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	.142

النسبة بين القدرة غير الفعالة إلى القدرة الفعالة ($\frac{Kvar}{Kw}$)

جدول (٣-٢)

EXISTING POWER FACTOR	PROPOSED POWER FACTOR				
	1.0	.95	.90	.85	.80
.20	4.899	4.570	4.415	4.279	4.149
.21	4.656	4.327	4.171	4.036	3.906
.22	4.433	4.104	3.949	3.813	3.683
.23	4.231	3.902	3.747	3.611	3.481
.24	4.045	3.716	3.561	3.425	3.295
.25	3.873	3.544	3.389	3.253	3.123
.26	3.714	3.385	3.229	3.094	2.964
.27	3.566	3.238	3.082	2.946	2.816
.28	3.429	3.100	2.944	2.809	2.679
.29	3.300	2.971	2.816	2.680	2.550
.30	3.180	2.851	2.696	2.560	2.420
.31	3.067	2.738	2.583	2.447	2.317
.32	2.961	2.632	2.476	2.341	2.211
.33	2.861	2.532	2.376	2.241	2.111
.34	2.766	2.437	2.282	2.146	2.016
.35	2.676	2.347	2.192	2.056	1.926
.36	2.592	2.263	2.107	1.972	1.842
.37	2.511	2.182	2.027	1.891	1.761
.38	2.434	2.105	1.950	1.814	1.684
.39	2.361	2.032	1.877	1.741	1.611
.40	2.291	1.963	1.807	1.671	1.541
.41	2.225	1.896	1.740	1.605	1.475
.42	2.161	1.832	1.676	1.541	1.410
.43	2.100	1.771	1.615	1.480	1.349
.44	2.041	1.712	1.557	1.421	1.291
.45	1.985	1.656	1.501	1.365	1.235
.46	1.930	1.602	1.446	1.310	1.180
.47	1.877	1.548	1.392	1.257	1.128
.48	1.828	1.499	1.343	1.208	1.077
.49	1.779	1.450	1.295	1.159	1.029
.50	1.732	1.403	1.248	1.112	.982
.51	1.687	1.358	1.202	1.067	.936
.52	1.643	1.314	1.158	1.023	.892
.53	1.600	1.271	1.116	.980	.850
.54	1.559	1.230	1.074	.939	.809
.55	1.518	1.189	1.034	.898	.768
.56	1.479	1.150	.995	.859	.729
.57	1.442	1.113	.957	.822	.691
.58	1.405	1.076	.920	.785	.654
.59	1.368	1.040	.884	.748	.618
.60	1.333	1.004	.849	.713	.583
.61	1.299	.970	.815	.679	.549
.62	1.266	.937	.781	.646	.515
.63	1.233	.904	.748	.613	.482
.64	1.201	.872	.716	.581	.450
.65	1.169	.840	.685	.549	.419
.66	1.138	.810	.654	.518	.388
.67	1.108	.779	.624	.488	.358
.68	1.078	.750	.594	.458	.328
.69	1.049	.720	.565	.429	.298
.70	1.020	.691	.536	.400	.270
.71	.992	.663	.507	.372	.241
.72	.964	.635	.480	.344	.214
.73	.936	.608	.452	.316	.186
.74	.909	.580	.425	.289	.158
.75	.882	.553	.398	.262	.132
.76	.855	.527	.371	.235	.105
.77	.829	.500	.344	.209	.078
.78	.802	.474	.318	.182	.052
.79	.776	.447	.292	.156	.026
.80	.750	.421	.266	.130	—
.81	.724	.395	.240	.104	—
.82	.698	.369	.214	.078	—
.83	.672	.343	.188	.052	—
.84	.646	.317	.162	.026	—
.85	.620	.291	.136	—	—
.86	.593	.265	.109	—	—
.87	.567	.238	.082	—	—
.88	.540	.211	.056	—	—
.89	.512	.183	.028	—	—
.90	.484	.155	—	—	—
.91	.456	.127	—	—	—
.92	.426	.097	—	—	—
.93	.395	.066	—	—	—
.94	.363	.034	—	—	—
.95	.329	—	—	—	—
.96	.292	—	—	—	—
.97	.251	—	—	—	—
.98	.203	—	—	—	—
.99	.142	—	—	—	—
1.00	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

النسبة بين القدرة غير الفعالة إلى القدرة الفعالة ($\frac{Kvar}{Kw}$)

مثال ١

منظومة تحتوى على : وحدة مكثفات ثابتة القيمة ، حمل قيمته ١٠٠ كيلووات .

ما قيمة قدرة وحدة المكثفات لرفع معامل القدرة من ٧٧ر٠ إلى ٩٥ر٠ ؟

الحل

من جدول (٢-٢) $\frac{\text{ك. ڤار}}{\text{ك.وات}}$ = ٥ر٠

∴ قيمة قدرة وحدة المكثفات = ٠,٥ × ١٠٠ = ٥٠ كيلوڤار

مثال ٢

ما قيمة قدرة المكثفات اللازمة لحمل ١٠٠ ك . وات لتحسين معامل القدرة من ٠,٦٥ إلى ٨٥ر٠ وما قيمة الانخفاض في الحمل ؟

الحل

من شكل (٩-٢)

	ك . ف . أ	ك . ڤار
عند معامل القدرة ٠,٩٥	١٥٤	١١٧
عند معامل القدرة ٠,٨٥	١١٧,٥	٦٢
	٣٦,٥	٥٥

قيمة المكثفات اللازمة = ٥٥ ك . ڤار

قيمة الإنخفاض فى الحمل = ٣٦,٥ ك.ف.أ

مثال ٣

ما قيمة الإنخفاض فى الحمل بالكيلوڤولت أمبير - لتحسين معامل قدرة من ٠,٦٥ إلى ٠,٩ وقيمة الحمل ٨٠ كيلووات - ثم أحسب قدرة المكثفات اللازمة .

الحل

من شكل (١١-٢)

عند حمل ٨٠ كيلووات	معامل القدرة	كيلو ڤولت أمبير
	٠٫٦٥	١٢٣
	٠٫٩	٨٩
		٣٤

∴ قيمة الانخفاض في الحمل = ٣٤ كيلو ڤولت أمبير

من شكل (١٤-٢)

عند حمل ٨٠ كيلو وات	معامل القدرة	كيلو ڤار
	٠٫٦٥	٩٤
	٠٫٩	٣٩
		٥٥

∴ قيمة قدرة المكثفات = ٥٥ كيلو ڤار

مثال ٤

محرك مواصفاته كالآتى :

٤٠٠ حصان - ٢٠٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز - معامل قدرة ٠٫٧ متأخر - استخدمت مكثفات متصلة دلتا لتحسين معامل القدرة حتى ٠٫٩٣

احسب سعوية كل وحدة مكثف وكذلك عدد وحدات المكثفات - إذا كان جهد الوحدة ٥٠٠ ڤولت -كفاءة المحرك ٨٥٪ .

الحل :

من بيانات المحرك يتم حساب تيار المحرك

$$\text{تيار المحرك} = \frac{400 \times 735.5}{\sqrt{3} \times 2000 \times 0.7 \times 0.85} = 142.8$$ أمبير

يتكون تيار المحرك من مركبتين : مركبة فعالة = ١٤٢٫٨ × ٠٫٧ = ٩٩٫٩٦ أمبير

مركبة غير فعالة (حثية) = ١٤٢٫٨ × ٠٫٧١٤ = ١٠٢ أمبير

عند تحسين معامل القدرة إلى ٠٫٩٣ ، المركبة الفعالة تبقى كما هى ، ولكن التيار تتغير قيمته من ١٤٢٫٨ إلى ١٤٢٫٨ × $\frac{٠٫٧}{٠٫٩٣}$ = ١٠٧٫٥ أمبير

وتصبح المركبة غير الفعالة لهذا التيار عبارة عن ١٠٧٫٥ × ٠٫٣٦٨ = ٣٩٫٥٢ أمبير

وهذا يعنى أن المركبة غير الفعالة (الحثية) تنقص بفعل مركبة التيار السعوية ، التى تسبب هذا النقص ، بما يساوى الفرق بين مركبتى التيار الحثيتين عند معاملى القدرة ٠٫٧ ، ٠٫٩٣ . متأخر ، أى أن

المركبة السعوية التى هى تيار المكثفات = ١٠٢ - ٣٩٫٥٢ = ٦٢٫٤٨ أمبير

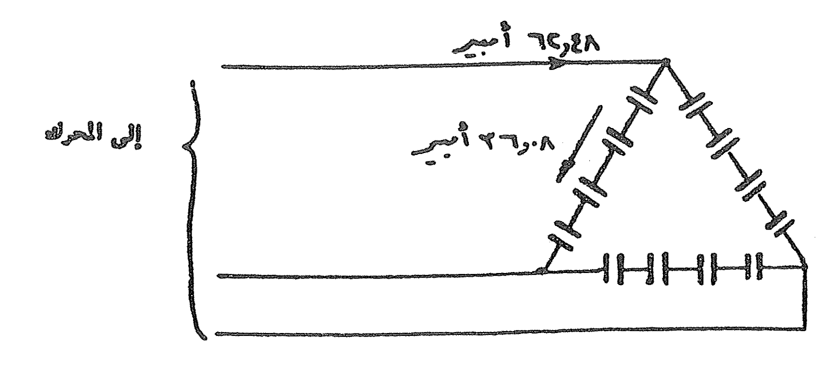
الجهد الكلى على طرفى مصفوفة المكثفات ٢٠٠٠ ڤولت وجهد وحدة المكثفات ٥٠٠ ڤولت ، إذن يلزم عدد ٤ وحدات مكثفات متصلة على التوالى لكل وجه .

التيار المار بفرع الدلتا أو المار بوحدات المكثفات = $\frac{٦٢٫٤٨}{\sqrt{٣}}$ = ٣٦٫٠٨ أمبير

ممانعه المكثف الواحد = $\frac{٥٠٠}{٣٦٫٠٨}$ = ١٣٫٨٦ أوم

سعويه المكثف الواحد = $\frac{١٠^{٦}}{٢ط × ٥٠ × ١٣٫٨٦}$ = ٢٢٩٫٨ ميكرو ڤاراد

سعويه المكثفات لكل وجه = $\frac{٢٢٩٫٨}{٤}$ = ٥٧٫٤٥ ميكرو ڤاراد



المكثفات وتحسين معامل القدرة

مثال ٥

محرك متزامن ، ثلاثى الأوجه ، تم توصيله على التوازى مع حمل ٨٠٠ كيلو وات عند ٨ر. معامل قدرة متأخر وذلك لكى يعمل كمكثف متزامن ، ويأخذ تياراً سعوياً يؤدى إلى رفع معامل القدرة الكلى إلى ٩٣ر. متأخر ، فإذا كان الحمل على المحرك المتزامن ١٥٠ كيلو وات عندما يحدث ذلك .

احسب قدرة الدخل للمحرك بالكيلوفولت أمبير فى هذه الحالة ، وقيمة معامل قدرته المتقدم . أهمل مفاقيد المحرك .

الحل

جيب تمام الزاوية Φ = ٨ ر.

ظل الزاوية Φ = ٧٥ر.

قيمة القدرة غير الفعالة المقابلة لقدرة الحمل ٨٠٠ كيلووات = ٨٠٠ × ٧٥ر.

= ٦٠٠ كيلو ڤار

حمل المحرك = ١٥٠ كيلووات .

الحمل الكلى = ١٥٠ + ٨٠٠ = ٩٥٠ كيلووات

معامل القدرة المحسن للحمل الكلى = ٩٣ر. = جتا Φ_1

ظل الزاوية Φ_1 المقابلة لمعامل القدرة المحسن = ٣٩٥٢ر.

قيمة القدرة غير الفعالة بعد التحسين = ٣٩٥٢ر. × ٩٥٠ = ٤ر٣٧٥ كيلو ڤار

قيمة القدرة غير الفعالة قبل التحسين = ٧٥ر. × ٨٠٠ = ٦٠٠ كيلو ڤار

أى أن المحرك سوف يعطى قدرة سعوية عبارة عن = ٦٠٠ - ٤ر٣٧٥

= ٦ر٢٢٤ كيلوڤار

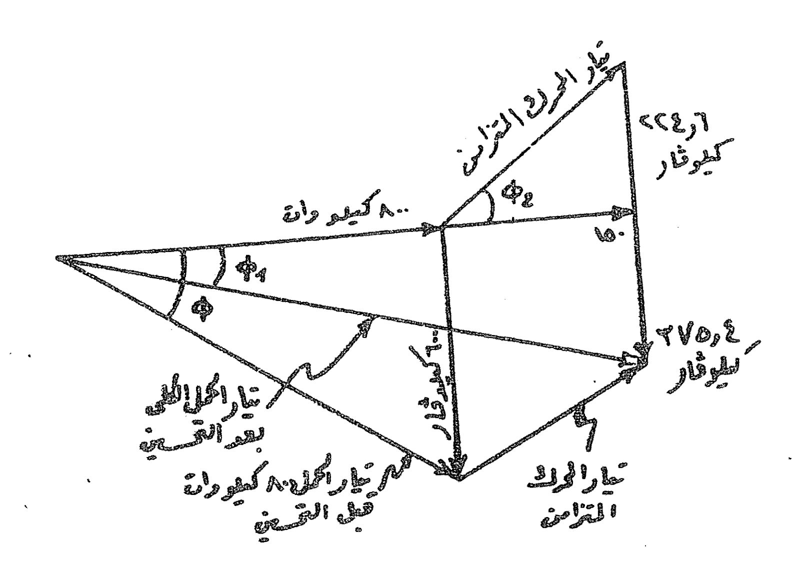
أى أن المحرك له قدرة فعالة ١٥٠ كيلووات وقدرة سعوية غير فعالة ٦ر٢٢٤ كيلوڤار

وبالتالى : ظل زاوية المحرك Φ_2 = $\frac{٦ر٢٢٤}{١٥٠}$ = ٤٩٧٣ر١

أى أن الزاوية . Φ_2 = °٥٦ م

جيب تمام الزاوية Φ_2 = ٥٥٤٨ر.

كيلوڤولت امبير للمحرك المتزامن = $\frac{١٥٠}{٥٥٤٨ر.}$ = ٧ر٢٧٠ كيلوڤولت أمبير



تيار المحرك التزامني
٢٢٤٫٦ كيلوڤار
٨٠٠ كيلو واط
Φ_2
١٥٠
Φ_1
Φ
٢٧٥٫٤ كيلوڤار
تيار الحمل الكلي بعد التحسين
تيار الحمل ٨٠٠ كيلوواط قبل التحسين
تيار المحرك التزامني

٢-٢ تحسين معامل القدرة للمحولات

(Power Facfor Improvement For Power transformer)

تعتبر المحولات من المكونات الرئيسية لأى شبكة كهربائية . وجميع هذه المحولات تستهلك طاقة غير فعالة لمغنطة القلب الحديدى . الطاقة غير الفعالة المطلوبة تتراوح عادة بين ١-١٢ ٪ من قدرة المحول .

جدول (٤-٢)

يبين القدرة غير الفعالة ك . ڤار لبعض نماذج من محولات التوزيع النظام الأوربى *(Distribution Transformers)*

قدرة المحول KVA	من ٢ر٧ إلى ٢٣ ك.ف		٢٤ ك . ف		٣٦ ك . ف	
	حالة اللاحمل	حالة الحمل	حالة اللاحمل	حالة الحمل	حالة اللاحمل	حالة الحمل
٦٣٠ ك.ف.أ	١٧	٤٠.٧	١٨ر٨	٤٣ر٦	٢١ر٢	٤٦
٥٠٠ ك.ف.أ	١٣ر٥	٣٢ر٣	١٥ر٨	٣٦ر٨	١٨	٣٩
٤٠٠ ك.ف.أ	١٠ر٨	٢٥ر٧	١٣ر٢	٣٠	١٥ر٢	٣٢
١٠٠ ك.ف.أ	٣ر٦	٦ر٩٢	٤ر١٦	٧ر٩٦	٥ر٠٨	٨ر٨٨

من الجدول السابق يتضح أن نسبة قيمة القدرة غير الفعالة فى حالة الحمل إلى حالة اللا حمل أكبر من ضعف هذه القيمة . فى حالة ما اذا كان المطلوب تحسين معامل القدرة للمحول فى حالة اللا حمل تطبق المعادلة التالية :-

$$\text{القدرة غير الفعالة} = \frac{(Z\%)x(KVA)\ \text{قدرة المحول}}{٢٠٠}\ \text{ك . ڤار}$$

حيث $Z\ \%$ تمثل نسبة هبوط الجهد فى معاوقة المحول أى $100\ x\ IZ/V$

حيث I مقنن التيار، V مقنن الجهد لكل وجه .

جدول (٥-٢)

يبين بعض خصائص المحولات ثلاثية الأوجه (النظام الإنجليزى) للمحولات بنسبة تحويل ٦ر٦ ك . ف / ٤٣٣ ڤولت أو ١١ ك . ف / ٤٣٣ ڤولت .

قدرة المحول	الفقد فى الحديد (وات)	الفقد فى النحاس (وات)	نسبة المعاوقة	تيار المغنطة ٪
١٠٠٠ ك.ف.أ	١٧٧٠	١١٨٢٠	٤ر٧٥	١ر٢
٥٠٠ ك.ف.أ	١٠٣٠	٦٨٦٠	٤ر٧٥	١ر٥٣

قدرة المكثفات المطلوبة لمعادلة القدرة غير الفعالة للمحول فى حالة اللا حمل :

تعتمد قدرة المكثفات اللازم توصيلها مع المحول على قدرة المغنطة فى حالة اللا حمل *KVA* وتكون قدرة المكثفات حوالى ١٠٪ من قدرة المحول ، وهى قيمة مناسبة فى هذه الحالة . اقصى قيمة للقدرة غير الفعالة للمكثفات يمكن توصيلها دائماً على الملف الثانوى للمحول ، وتكون عاملاً مؤثراً على سلوك المحول ، فى حالة تشبع القلب المغناطيسى . وعادة ينسب هذا الى الارتفاع فى جهد المنظومة عن القيمة العادية .

سوف ينشأ فى هذه الظروف تيار التوافقيات عن طريق المحول ، ويغلب عليها عادة التوافقية الخامسة والسابعة ، وتعتمد الزيادة فى قيمة تيار التوافقيات على مواصفات المحول وتصميم القلب . يحتمل أنه ينتج عن توصيل المكثفات على الملف الثانوى للمحول حدوث رنين بالنسبة للتيار التوافقى . وقد أمكن فى الماضى عزل حالة الرنين ، على الرغم من أن البيانات لم تكن موضحة أو متاحة ، فقد كان ينص عليها دائماً فى المواصفات العالمية مثل *IEC 70* .

وقد وجد أنه فى التوصيات والمراجع الأمريكية ينص على أنه فى حالة استخدام مكثفات ثابتة على الملف الثانوى للمحول ، تكون أقصى قيمة لقدرتها بين ٤٠٪ - ٦٧٪ من قدرة المحول *(KVA)* .

الجدول (٦-٢)

يبين قيمة القدرة للمكثفات اللازم اضافتها مع محولات توزيع (توصيل مباشر) ، وذلك لمعادلة قدرة المغنطة بالمحول .

قدرة المحول KVA	قدرة المكثفات Kvar عند الجهود		
	٥/١٠ ك.ف	١٥/٢٠ ك.ف	٢٥/٣٠ ك.ف
١٠٠٠ ك.ف.أ	٤٥	٥٠	٥٥
٧٥٠ ك.ف.أ	٣٠	٣٥	٤٥
٥٠٠ ك.ف.أ	٢٠	٢٥	٣٠
١٠٠ ك.ف.أ	٦	٨	١٠

جدول (٧-٢)

قيمة القدرة لوحدات مكثفات مناسبة لمحولات محطات التحويل (التى يطلق عليها عادة اسم محولات القدرة) ذات قدرات مختلفة ـ جهد متوسط

قدرة المحول MVA	نسبة الممانعة المئوية $Z_T \% \simeq x_T \%$	قدرة المكثفات Mvar
٨	١٠	٠ر٨ - ١ر٢ حتى ٢ر٤
١٠	١٠	١ر٠ - ١ر٥ حتى ٣ر٠
١٦	١٠	١ر٦ - ٢ر٤ حتى ٤ر٨
٢٠	١٠	٢ر٠ - ٣ر٥ حتى ٦ر٠
٢٥	١٠	٢ر٥ - ٣ر٨ حتى ٧ر٥

الخلاصة أن قدرة المكثفات المناسبة عند المحطات الفرعية لمحولات قدرة لها نسبة معاوقة ١٠٪ تكون بين ١٠ - ١٥٪ حتى ٣٠٪ من قدرة المحول .

تكون قيمة نسبة المعاوقة فى حالة محولات التوزيع أصغر منها فى حالة محولات القدرة الكبيرة ، وبالتالى فان قدرة المكثفات اللازمة تكون مختلفة .

فاذا كانت نسبة المعاوقة ٤٪ فان قدرة المكثفات اللازمة تكون حوالى ١٥٪ حتى ٣٠-٥٠٪ من قدرة محول التوزيع .

إذا كانت نسبة المعاوقة ٥ - ٦٪ فان قدرة المكثفات اللازمة تكون حوالى ١٠٪ حتى ٢٠٪ إلى ٣٠٪ .

نسبة ارتفاع الجهد *(Voltage Rise)*

يرتفع الجهد بين أطراف الملف الثانوى نتيجة تركيب المكثفات . نسبة الارتفاع فى الجهد يمكن التعبير عنها بالعلاقة الآتية :

$$Percentage\ Voltage\ Rise = \frac{Q}{P}\ X_T\ \% \qquad \ldots\ldots\ (٤-٢)$$

حيث

Q = قدرة المكثفات *Kvar*

P = قدرة المحول *KVA*

$X_T\ \%$= نسبة ممانعة المحول المئوية .

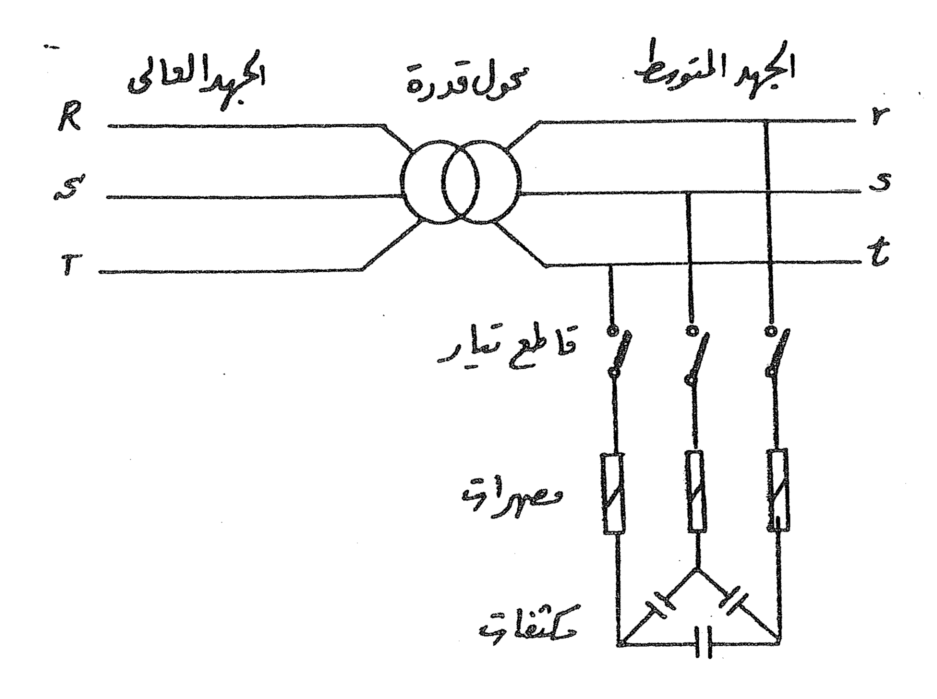
($\frac{IX_T}{V}$ *I, 100* مقنن التيار و *V* مقنن الجهد)

بفرض أن معاوقة منظومة القدرة *(Power System)* الموصل إليها الملف الإبتدائى لمحول القدرة مهملة بالنسبة لمعاوقة محول القدرة . اذا كانت النسبة بين $KVA_{s.c}$ للمنظومة إلى *KVA* للمحول اقل من ١٠٠ ، يجب فى هذه الحالة اضافة معاوقة المنظومة إلى معاوقة المحول لحساب نسبة الارتفاع فى الجهد .

طريقة توصيل مكثفات على محول القدرة

يتم توصيل المكثفات نجمة أو دلتا (على الملف الثانوى لمحول القدرة) عن طريق مصهرات ذات سعة قطع كبيرة *(HRC)* ، وقاطع تيار .

الشكل (١٥-٢) يبين طريقة توصيل مكثفات موصلة دلتا على الملف الثانوى لمحول قدرة .



الجهد العالى
محول قدرة
الجهد المتوسط
R
S
T
r
s
t
قاطع تيار
مصهرات
مكثفات

شكل (١٥-٢)

٢-٣ تحسين معامل القدرة للمحركات التأثيرية

Power Factor For Induction Motors

تعتبر المحركات التأثيرية أكثر معدة كهربائية تستهلك قدرة غير فعالة فى مجال القوى الكهربائية الصناعية .

خصائص المحركات التأثيرية التى تؤثر على معامل القدرة هى : قدرة المحرك - سرعته - الحمل - الأشكال (١٦-٢) ، (١٧-٢) ، (١٨-٢) ، (١٩-٢) توضح العلاقة بين كل منها وبين معامل القدرة .

شكل (١٦-٢) يوضح العلاقة بين القدرة بالحصان لمحرك تأثيرى ذى قفص سنجابى ومعامل القدرة عند سرعة معينة ، وهى ١٠٠٠ دورة / الدقيقة - ومن الشكل يتضح أنه كلما زادت قدرة المحرك كلما تحسن معامل القدرة .

شكل (١٧-٢) يوضح العلاقة بين الحمل ومعامل القدرة ، لمحركات تأثيرية ذات قدرات مختلفة ، عند نفس السرعة ١٠٠٠ دورة / الدقيقة ، وذلك بإعتبار مقنن الحمل للمحرك يمثل ١٠٠٪ - ومن الشكل يتضح أنه كلما زاد الحمل على المحرك كلما تحسن معامل القدرة .

شكل (١٨-٢) يوضح العلاقة بين سرعة محرك تأثيرى ذى قفص سنجابى ، مقنن قدرته ٥٠ حصان ، ومعامل القدرة - ويتضح من الشكل أنه كلما زادت سرعة المحرك كلما تحسن معامل قدرته .

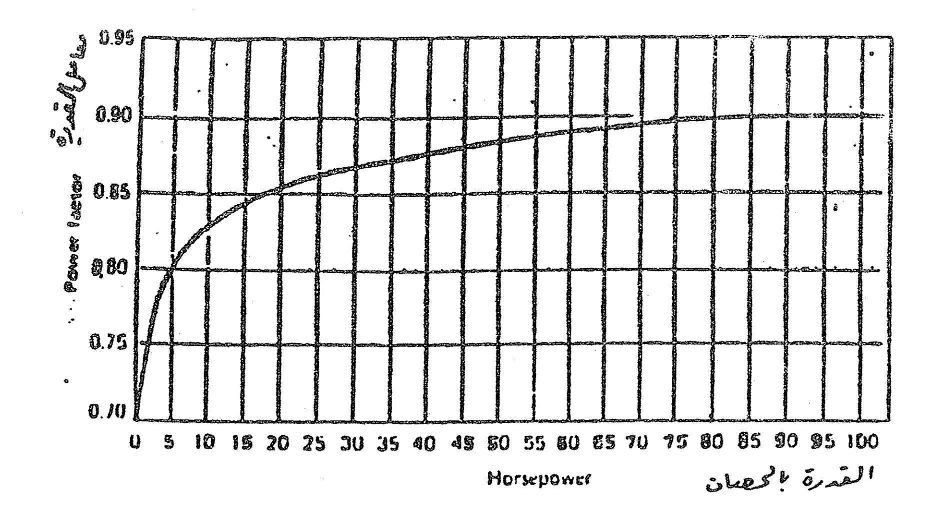
شكل (١٩-٢) يوضح العلاقة بين نسبة الحمل ومعامل القدرة لمحرك تأثيرى ذى قفص سنجابى ، مقنن قدرته ١٠ حصان ، وسرعة التزامن فيه ١٥٠٠ دورة/ الدقيقة ، وذلك قبل وبعد استخدام مكثفات بقدرة ٣ كيلوفار ، بغرض تحسين معامل القدرة - ويتضح من الشكل تحسن معامل القدرة بدرجة عالية جداً ، بعد استخدام المكثفات .

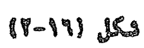
يتبين من العلاقات السابقة أن معامل القدرة للمحرك التأثيرى ينخفض بانخفاض كل من القدرة ، والسرعة ، ونسبة التحميل .

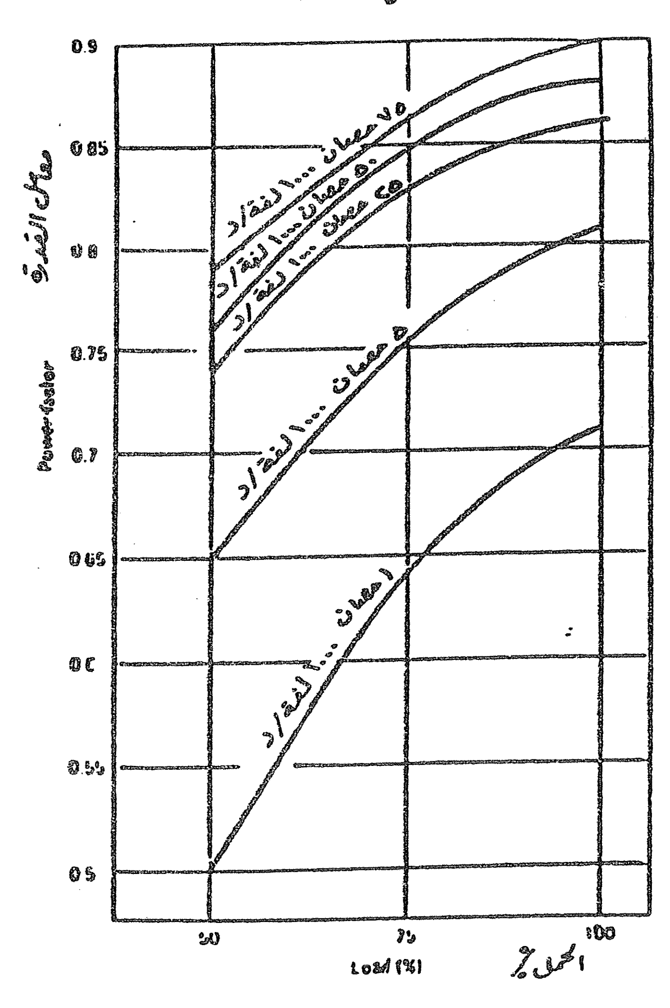
يتم عملياً توصيل مكثفات تحسين معامل القدرة مع المحركات كوحدة ، وذلك إما على العضو الثابت (*Stator*) مباشرة ، أو على المصدر المغذى للمحرك التأثيرى .

لتحديد قدرة المكثفات اللازمة للمحركات التأثيرية عموماً ، يجب معرف قيمة القدرة

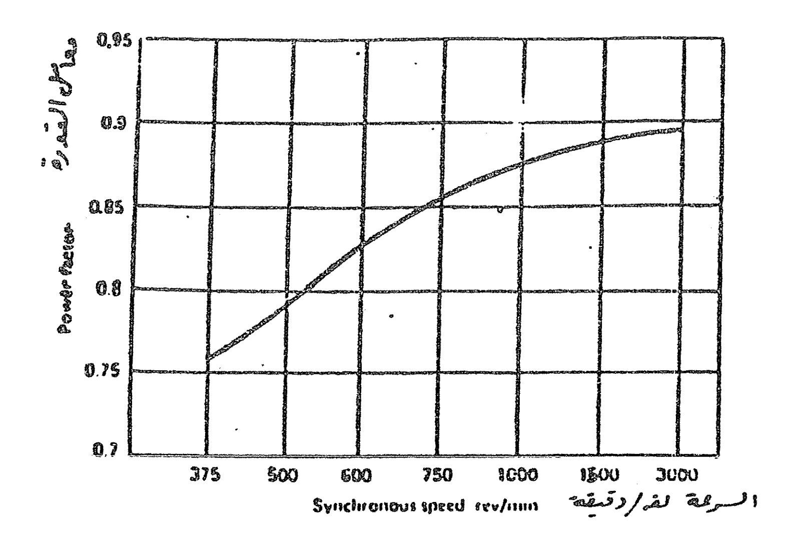
بالكيلوفار فى حالة اللاحمل ، وهى عبارة عن القدرة فى حالة اللا حمل المترتب على وجودها إنشاء المجال المغناطيسى *(No - Load Magnetising KVA)* . ثم تحدد قدرة المكثفات بحيث لا تتعدى ما بين ٨٥٪ و٩٠٪ من هذه القيمة . عند توصيل المكثفات على العضو الثابت فى المحرك مباشرة ، فإن تيار الحمل ينخفض ، ويجب بالتالى اعادة ضبط أجهزة الحماية ضد (زيادة الحمل) المركبة على العضو الثابت ، بحيث تتناسب مع قيمة الحمل بعد تركيب المكثفات .



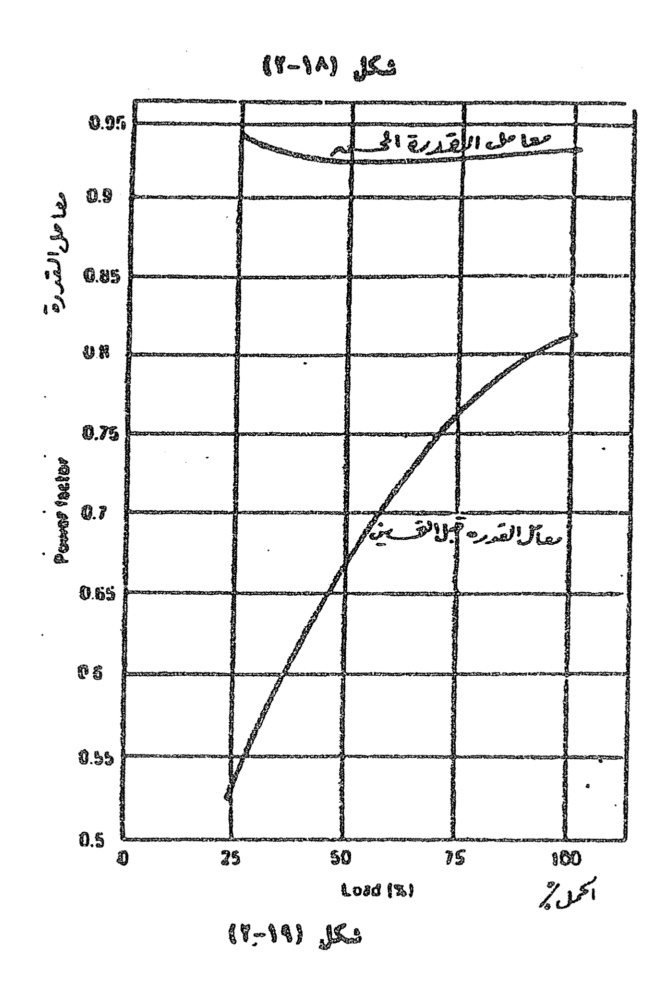

شكل (١٦-٢)



شكل (١٧-٢)



شكل (١٨-٢)



شكل (١٩-٢)

يتم إذاً توصيل المكثفات مع المحرك بإحدى الطريقتين الآتيتين :

١ - توصيل المكثفات مباشرة على العضو الثابت فى المحرك :

(Individual Power Factor Correction)

وهذا يعنى أنه يتم تحسين معامل القدرة لكل محرك على حدة ، ويبين شكل (٢٠-٢) طريقة توصيل مجموعة مكثفات (توصيل دلتا) على الأوجه الثلاثة توصيلاً مباشراً مع المحرك .

شكل (٢١-٢) يوضح رسم تفصيلى لمحرك ذى مبدئ تشغيل نجمة / دلتا *(Star / Delta Switch)* حيث يمكن توصيل المكثفات فى الأوضاع التالية :

وضع (١) :

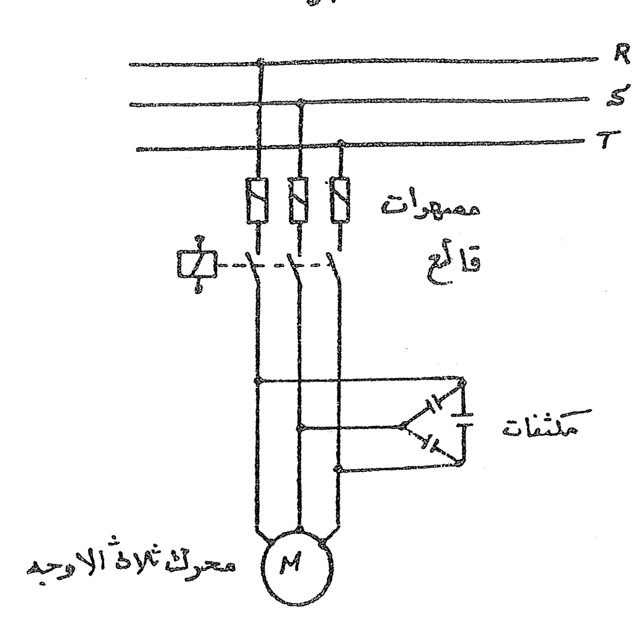
توصيل المكثفات ناحية مصدر الكهرباء لمبدئ التشغيل

- فى هذه الحالة لا تعتمد قيمة قدرة المكثفات على تيار المغنطة (وبالتالى الكيلوفار) فى حالة اللا حمل .
- يظل تيار مبدئ التشغيل ثابت القيمة .
- يظل ضبط جهاز الحماية ضد زيادة الحمل كما هو .

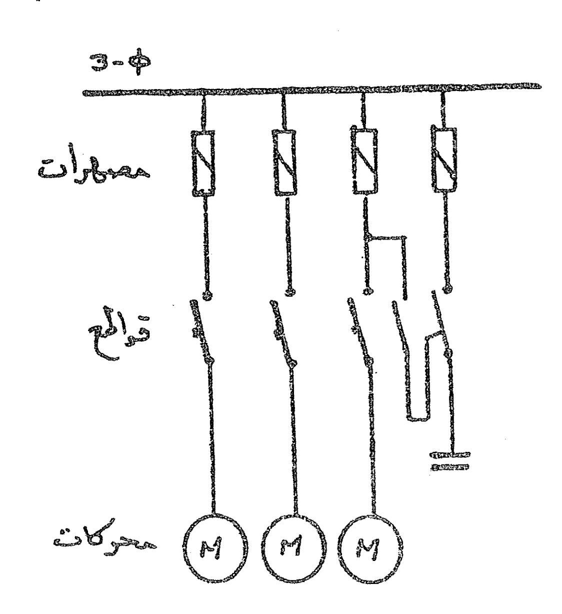
وضع (٢) :

توصيل المكثفات بين المفتاح العمومى وجهاز الحماية ضد زيادة الحمل

- قيمة قدرة المكثف تعتمد على تيار المغنطة (وبالتالى الكيلوفار) فى حالة اللا حمل .
- تنخفض قيمة تيار التشغيل عند البدء .
- يظل ضبط جهاز الحماية ضد زيادة الحمل كما هو .



شكل (٢٠-٢)



شكل (٢٢-٢)

وضع (٣) :

توصيل المكثفات بعد جهاز الحماية ضد زيادة الحمل

- قيمة قدرة المكثف تعتمد على تيار المغنطة (وبالتالى الكيلوفار) فى حالة اللا حمل .

- تنخفض قيمة تيار التشغيل عند البدء .

- ضبط جهاز الحماية ضد زيادة التيار (لكى يحدث الفصل) يقل كالآتى :

ضبط قيمة التيار فى جهاز الحماية بعد تركيب المكثفات =

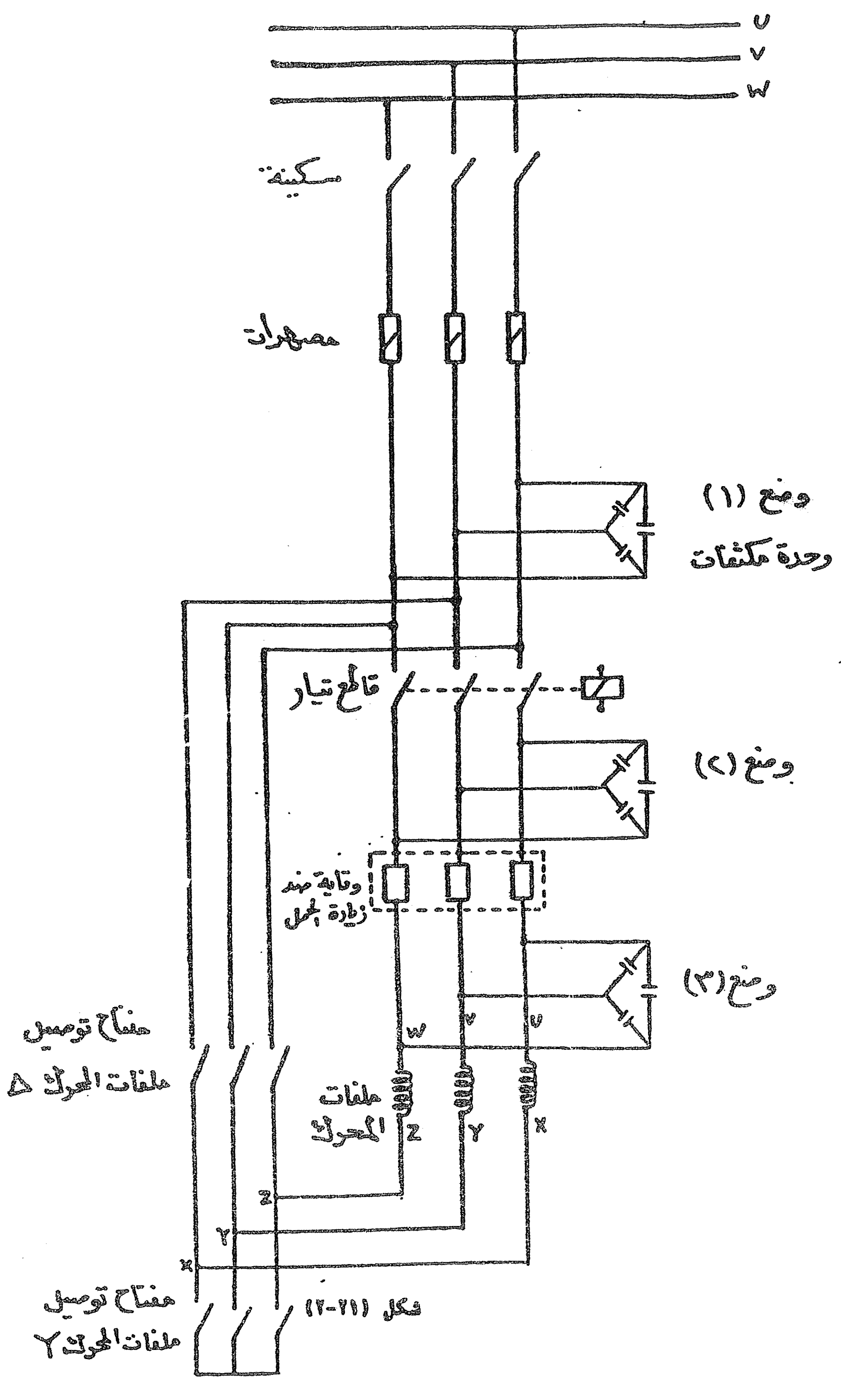
$$\text{ضبط قيمة التيار فى جهاز الحماية قبل تركيب المكثفات} \times \frac{\text{معامل القدرة بدون مكثفات}}{\text{معامل القدرة بالمكثفات}}$$

٢ - توصيل المكثفات مع مجموعة محركات (Group Compensation)

وهذا يعنى تحسين معامل القدرة بالنسبة لشبكة التغذية كوحدة ، عندما تعمل مجموعة المحركات معاً . شكل (٢٢-٢) يوضح توصيل المكثفات على القضبان الرئيسية لمجموعة محركات تأثيرية كوحدة . ويتم التحكم فى توصيل المكثفات عن طريق مفتاح توصيل المحركات ، بحيث يتم توصيل المكثفات فى حالة توصيل المحركات فقط .

محركات ذات مبدئى تشغيل نجمة / دلتا *(Star / Delta Starters)*

يوضح شكل (٢٣-٢) كيفية توصيل المكثفات مع محرك ذى مبدئى تشغيل نجمة / دلتا ، حيث يكون كل مكثف موصل على التوازى مع أحد ملفات الأوجه الثلاثة للمحرك .يدور المحرك ببطئ حتى يصل إلى ما قبل سرعة التزامن ، دون أن يصل إلى السرعة المطلوبة . وهذا غالباً ما يكون مصحوباً بصوت غير عادى صادر عن المحرك . وقد أعزيت هذه الظاهرة لحالة الرنين ، والتى يتسبب عنها دوران تيار التوافقية بين ملفات المحرك والمكثف - يمكن علاج هذه الظاهرة عن طريق توصيل مقاومة بين كل وجهين بقيمة تقع بين ٣و. - ١ أوم ، على حسب حجم المحرك .


U
V
W
سكينة
مصهرات
وضع (١)
وحدة مكثفات
قاطع تيار
وضع (٢)
وقاية ضد
زيادة الحمل
وضع (٣)
W
V
U
ملفات
المحرك
Z
Y
X
مفتاح توصيل
ملفات المحرك Δ
Z
Y
X
مفتاح توصيل
ملفات المحرك Y

شكل (٢١-٢)

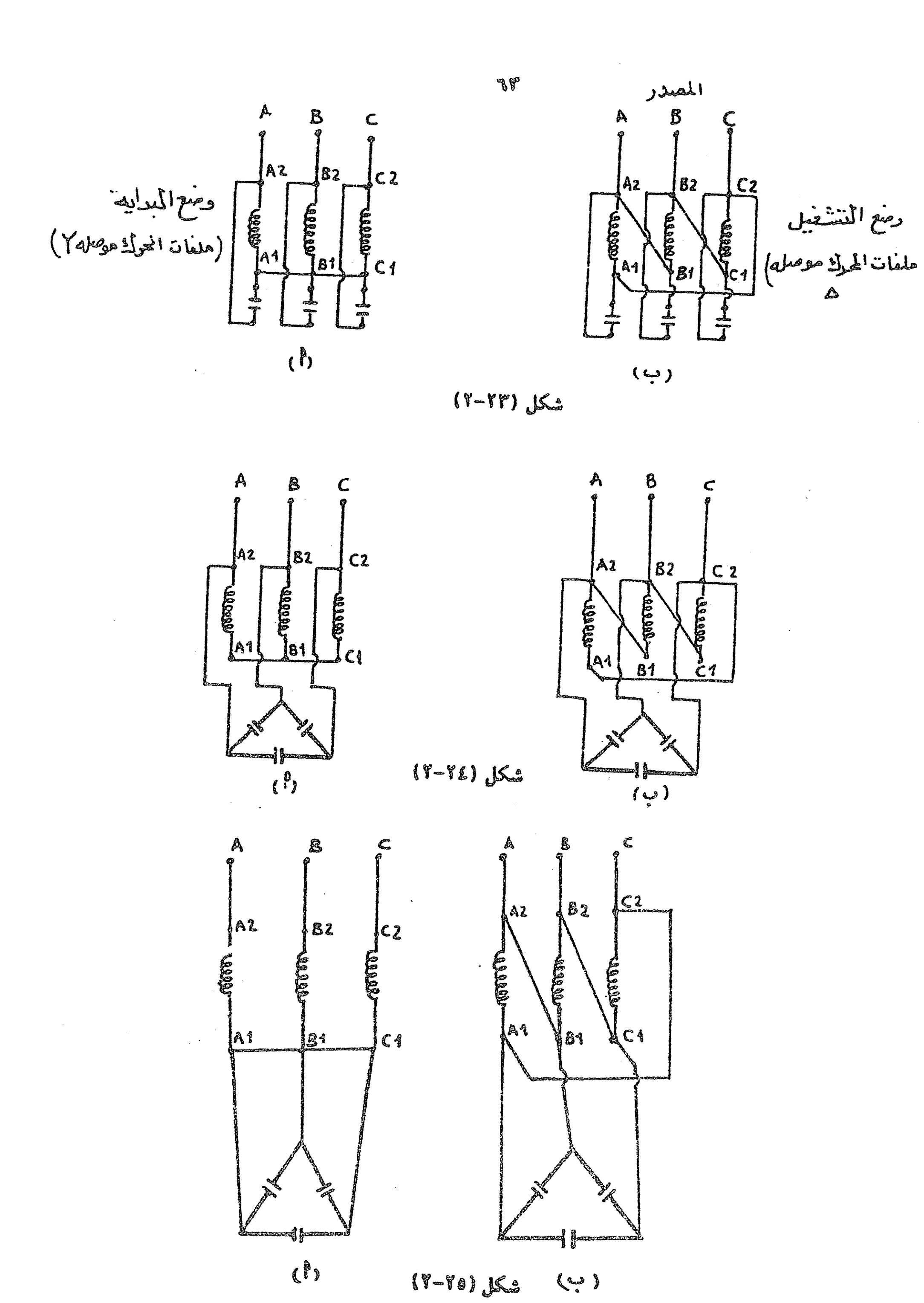
يوضح شكل (٢٣-٢)أ طريقة توصيل ثلاثة مكثفات (ذات ٦ أطراف) متصلة على التوازى مع الملفات حين تكون موصلة نجمة فى وضع البدء ، حيث تكون المكثفات هى الأخرى موصلة نجمة وتكون قدرة كل مكثف مساوية لثلث أقصى قدرة غير فعالة لازمة للمحرك .

يوضح شكل (٢٣-٢)ب وضع التشغيل ، حيث تكون ملفات المحرك موصلة دلتا . يوضح شكل (٢٤-٢)أ طريقة توصيل ثلاثة مكثفات ، (باستخدام ثلاثة أطراف) موصلة دلتا ، مع ملفات المحرك الموصلة نجمة فى وضع البداية ، حيث يلاحظ أنه يجب أن يتم توصيل أطراف المكثفات على أطراف دخول الكهرباء للمحرك A_2, B_2, C_2

يوضح شكل (٢٤-٢)ب وضع التشغيل ، حيث تكون ملفات المحرك موصلة دلتا . يجب التأكد فى حالة إستخدام مكثفات موصلة دلتا ،ألا يتم توصيلها كما في شكل (٢٥-٢) ، إذ أن ذلك يعنى أن المكثفات فى حالة دائرة قصر عند البدء عندما تكون ملفات المحرك موصلة نجمة وبالتالى لا يكون لها أى تأثير لتحسين معامل القدرة ، كما هو واضح من شكل (٢٥-٢)أ.هنا ، إلى جانب أنه قبل توصيل الأطراف A_1, B_1, C_1 مباشرة ، لكى يتم توصيل الملفات نجمة ، تكون المكثفات وملفات المحرك فى حالة توصيل توالى لحظياً ، مما قد يؤدى إلى أن يحدث رنين جزئى ، ينشأ عنه تغيير مفاجئ فى الجهد ، يمكن أن يؤدي إلي إنهيار فى كل من المحرك والمكثف .

ومن الناحية العملية ، نجد أنه فى حالة المحركات القياسية يمكن أن يكون هناك إختلاف بسيط فى قيمة قدرة المكثفات ، التى يقوم بتركيبها معها الصانع بنفسه ، عن القيم الموجودة ببعض الجداول ، وخصوصاً فى المحركات حتى قدرة ١٠٠ حصان . وعموماً ، إذا كان هناك أى شك فى القيمة يمكن الرجوع إلى الصانع ، ومعرفة قيمة القدرة المناظرة لتيار المغنطة فى حالة اللا حمل بالكيلوفولت أمبير ، وذلك للتأكيد على أن قدرة المكثف لا تزيد عن ٨٥-٩٠٪ من قدرة تيار المغنطة غير الفعالة بالكيلوفار (Kvar) .

يبين جدول (٨-٢) قدرة المكثفات اللازمة لتحسين معامل القدرة للمحرك بفرض أن معامل القدرة المطلوب الوصول إليه ٩٥ر٠ عند الحمل الكامل .



شكل (٢٣-٢)

شكل (٢٤-٢)

شكل (٢٥-٢)

جدول (٨-٢) تبين قدرة قيمة المكثفات اللازمة لتحسين معامل القدرة الى ٩٥ر٠ للمحركات التأثيرية :

قدرة المحرك بالحصان	قدرة المكثف بالكيلو فار عند السرعات المختلفة باللفة فى الدقيقة					
	٣٠٠٠ ل / د	١٥٠٠ ل / د	١٠٠٠ ل / د	٧٥٠ ل / د	٦٠٠ ل / د	٥٠٠ ل / د
١٠	٢,٥	٣	٣	٤	٥	٥
١٥	٣	٤	٤	٦	٦	٦
٢٠	٥	٥	٦	٦	٨	١٠
٢٥	٦	٦	٦	٨	١٠	١٢
٣٠	٦	٨	٨	١٠	١٢	١٤
٣٥	٨	٨	١٠	١٢	١٤	١٤
٤٠	٨	١٠	١٠	١٤	١٤	١٦
٤٥	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨
٥٠	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	١٨
٥٥	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠
٦٠	١٢	١٢	١٤	١٨	٢٠	٢٢
٨٠	١٤	١٦	٢٠	٢٠	٢٤	٢٨
١٠٠	١٨	٢٢	٢٤	٢٦	٢٨	٣٢
١٢٥	٢٢	٢٦	٢٨	٣٠	٣٤	٣٦
١٥٠	٢٦	٢٨	٣٠	٣٢	٣٦	٤٢
١٦٠	٢٨	٣٠	٣٢	٣٤	٣٨	٤٦
١٧٠	٣٠	٣٢	٣٢	٣٦	٤٠	٤٨
١٨٠	٣٠	٣٤	٣٤	٣٨	٤٤	٥٠
١٩٠	٣٢	٣٤	٣٦	٤٠	٤٦	٥٢
٢٠٠	٣٢	٣٦	٣٦	٤٤	٤٦	٥٤
٢١٠	٣٤	٣٦	٣٨	٤٦	٤٨	٥٨
٢٢٠	٣٤	٣٦	٣٨	٤٨	٥٠	٦٠
٢٣٠	٣٦	٣٨	٤٠	٥٠	٥٢	٦٢
٢٤٠	٣٨	٤٠	٤٢	٥٢	٥٦	٦٦
٢٥٠	٤٠	٤٢	٤٤	٥٤	٥٨	٦٨

حجم المكثفات اللازمة لتحسين معامل القدرة للمحركات التأثيرية

تحسب قدرة المكثفات اللازمة لتحسين معامل القدرة للمحركات التأثيرية من البيانات الخاصة بالمحرك .

قيمة قدرة المكثفات بالكيلو فار =

$$\frac{\text{قدرة المحرك بالحصان} \times ٠,٧٤٦ \times \text{نسبة التحميل الفعلى الى الحمل الكامل} \times \text{معامل التصحيح}}{\text{كفاءة المحرك (عند الحمل الفعلى)}}$$

غالبا يكون تحسين معامل القدرة للمحركات التأثيرية بحيث يصل إلى ٠,٩٨ عند $\frac{٣}{٤}$ الحمل الكلى .

مثال ١

مواصفات محرك تأثيرى كالآتى :

قدرة المحرك بالحصان = ٥٠

التردد = ٥٠ هرتز

مقنن الجهد = ٤١٥ ڤولت - ثلاثى الاوجه

السرعة عند الحمل الكامل = ٢٩٣٠ لفة / دقيقة (سرعة التزامن ٣٠٠٠ لفة / دقيقة)

الكفاءة عند $\frac{٣}{٤}$ الحمل الكامل = ٠,٨٩٥

معامل القدرة عند $\frac{٣}{٤}$ الحمل الكامل = ٠,٨٨

معامل القدرة المطلوب الوصول اليه = ٠,٩٨

احسب قيمة قدرة المكثفات المطلوب استخدامها .

الحل

نسبة التحميل الى الحمل الكامل = ٠,٧٥

معامل التصحيح من ٠,٨٨ إلى ٠,٩٨ = ٠,٣٣٧ (مأخوذ من جدول ٢ -٢)

قدرة المكثفات المطلوبة = (٥٠ × ٠,٧٤٦ × ٠,٧٥ × ٠,٣٢٧) / ٠,٨٩٥ = ١٠,٥٢٤ ك . ڤار

وتكون مواصفات المكثفات المطلوبة هى :

١٠,٥٢٤ ك . ڤار - ٤١٥ ڤولت - ٥٠ هرتز - ٣ أوجه

مثال ٢

محرك تأثيرى ، ثلاثى الاوجه ، مقنن الجهد ٢٢٠ ڤولت ، ومقنن قدرته ١٠ حصان ، وسرعة التزامن فيه ١٨٠٠ لفة / دقيقة ، معامل القدرة ٠,٨٦ ، التيار الخطى ٢٦,٨ أمبير .

إحسب نسبة خفض التيار بعد تركيب مكثفات لتحسين معامل القدرة إلى ٠,٩٧ .

الحل

القدرة بالكيلو وات عند معامل القدرة ٠,٨٦ = $\sqrt{3}$ × ٢٢٠ × ٢٦,٨ × ٠,٨٦ × 10^{-3}

= ٨,٧٨٢ كيلو وات

نجد من جدول (٢-٢) أن نسبة $\frac{Kvar}{Kw}$ عند تحسين معامل القدرة من ٠,٨٦ إلى ٠,٩٧ = ٠,٣٤٣

قيمة القدرة غير الفعالة اللازمة = ٠,٣٤٣ × ٨,٧٨٢ = ٣ كيلو ڤار

القدرة بالكيلو ڤولت أمبير عند معامل قدرة ٠,٩٧ = ٨,٧٨٢ / ٠,٩٧ = ٩,٠٥٤ ك . ف . ا

تيار الحمل عند معامل قدرة ٠,٩٧ = (٨,٧٨٢ × ١٠٠٠) / (٠,٩٧ × ٢٢٠ × $\sqrt{3}$) = ٢٣,٧٦ أمبير

تيار المكثف = (١٠٠٠ × ٣) / (٢٢٠ × $\sqrt{3}$) = ٣٠٠٠ / (٢٢٠ × $\sqrt{3}$) = ٧,٨٧٣ أمبير

نسبة خفض التيار بعد تركيب المكثف = (٢٦,٨ - ٢٣,٧٦) / ٢٦,٨ = ١١,٣٪

وعلى ذلك نجد أنه نتيجة تركيب مكثفات بقدرة ٣ كيلو ڤار يقل التيار اللازم للمحرك

بنسبة ١١,٣٪ ، ويتحسن معامل القدرة الى ٩٧و ٠ .

يوضح شكل (٢٦ - ٢) تمثيل للمحرك قبل وبعد استخدام المكثف .

مثال ٣

مصنع حمله ٢٨٠ أمبير بمعامل قدره ٦٥ر ٠ ، على ٤٠٠ ڤولت ، بثلاثة أوجه ، وتردد ٥٠ هرتز ، يلزم تحسين معامل القدرة الى ٩٥ر ٠ فما هى قدرة المكثفات اللازمة ؟ وماهى نسبة تخفيض الحمل عند معامل القدرة الجديد ؟

الحل

القدرة بالكيلو وات عند معامل القدرة ٦٥و ٠ = $\sqrt{3}$ × ٢٨٠ × ٤٠٠ × ٦٥و ٠ × ١٠ $^{-3}$

= ١٢٦,٠٩ كيلو وات

من جدول (٢-٢) نجد أن نسبة $\frac{Kvar}{Kw}$ عند تحسين معامل القدرة من ٦٥و ٠ الى ٩٥و ٠ = ٨٤و ٠

قيمة القدرة غير الفعالة اللازمة = ٨٤و ٠ × ١٢٦,٠٩ = ١٠٥,٩١٦ ك . ڤار

القدرة بالكيلو ڤولت أمبير عند معامل قدرة ٩٥و ٠ = $\frac{١٢٦,٠٩}{٠,٩٥}$ = ١٣٢,٧٢ ك . ف . أ

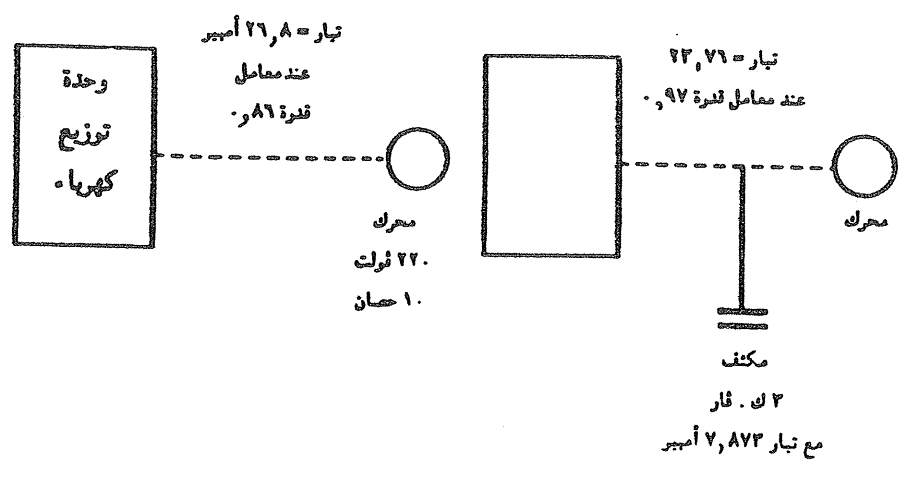
التيار عند معامل قدرة ٩٥ , ٠ = $\frac{١٠٠٠ \times ١٣٢,٧٢}{٤٠٠ \times \sqrt{3}}$ = ١٩١,٥٧ أمبير

تيار المكثف = $\frac{١٠٠٠ \times ١٠٥,٩١٦}{٤٠٠ \times \sqrt{3}}$ = ١٥٢,٨٨ أمبير

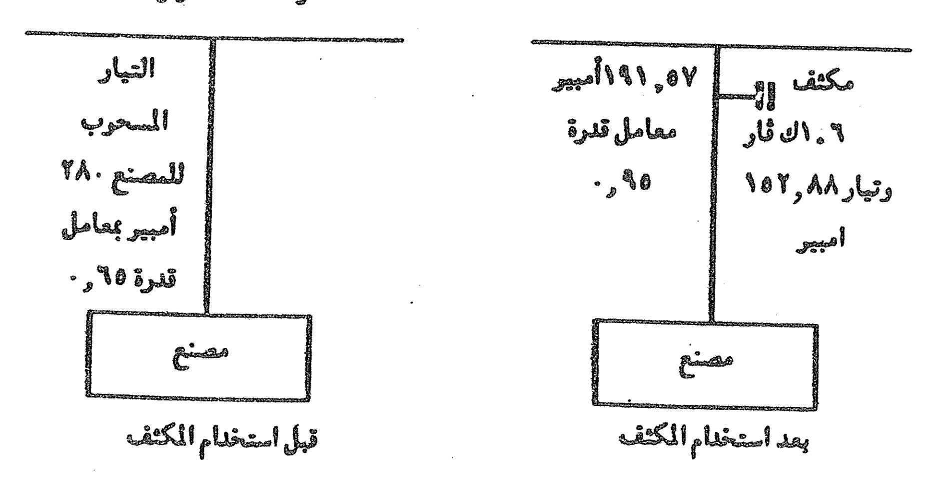
نسبة إنخفاض التيار بعد تركيب المكثف = $\frac{٢٨٠ - ١٩١,٥٧}{٢٨٠}$ = ٣١,٦ ٪

وعلى ذلك نجد أن تركيب مكثفات بقدرة ١٠٦ ك.ڤار يجعل التيار الازم لتشغيل المصنع يقل٣١,٦ ٪ ومعامل القدرة يتحسن الى ٩٥و ٠

يوضح شكل(٢٧ - ٢) تمثيل للمصنع قبل وبعد استخدام المكثف .



شكل (٢٦ - ٢)



شكل (٢٧ - ٢)

مثال ٤

حمل بقدرة ١٠٠ كيلو وات يلزم تحسين معامل قدرته من ٠,٧ الى ٠,٩٧ . ماهى قدرة المكثفات اللازمة ؟

الحل

من جدول (٢-٢) نجد أن نسبة $\frac{Kvar}{Kw}$ عند تحسين معامل القدرة من ٠,٧ الى ٠,٩٧ = ٠,٧٦٩

قيمة القدرة غير الفعالة اللازمة = ٠,٧٦٩ × ١٠٠ = ٧٦,٩ ك . ڤار

أى يلزم إضافة مكثفات بقدرة ٧٧ ك . ڤار

يوضح شكل (٢٨-٢) تمثيل للمسألة قبل وبعد استخدام المكثف .

ملحوظة : يكون الحصول على نسبة $\frac{Kvar}{Kw}$ بالحساب على النحو التالى وكما هو بالشكل (٢٩-٢)

Φ_1 = ٤٥,٧٥° جا Φ_1 = ٠,٧١٤

Φ_2 = ١٤,٠٧° جا Φ_2 = ٠,٢٤٣

تكون النسبة $\frac{Kvar}{Kw}$ عبارة عن ظا Φ_1 - ظا Φ_2 = ١,٠٢ - ٠,٢٥١ = ٠,٧٦٩

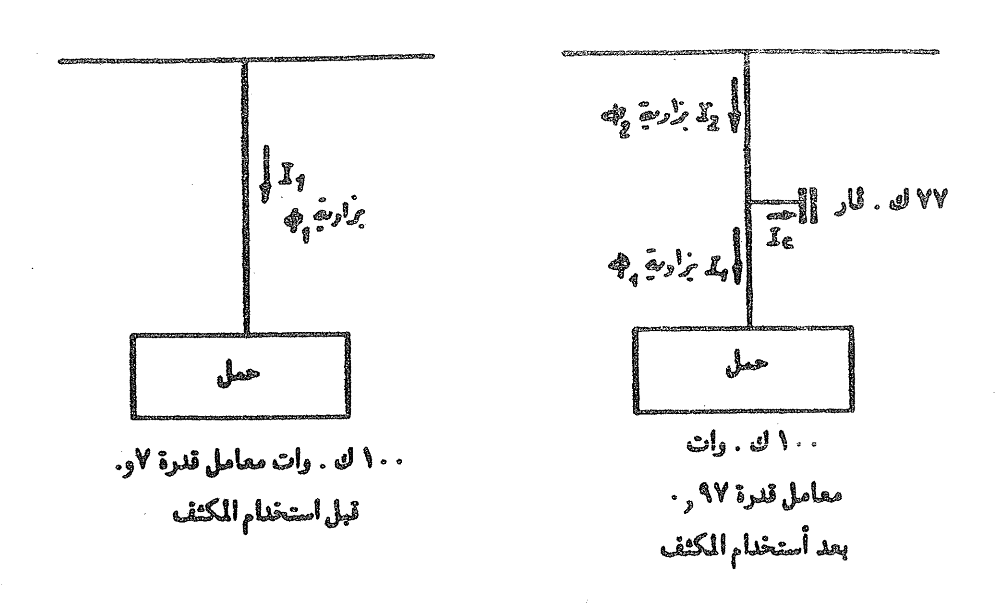
$$I_1 \cos\Phi_1 = I_2 \cos\Phi_2$$

$$I_2 = I_1 \frac{\cos\Phi_1}{\cos\Phi_2}$$

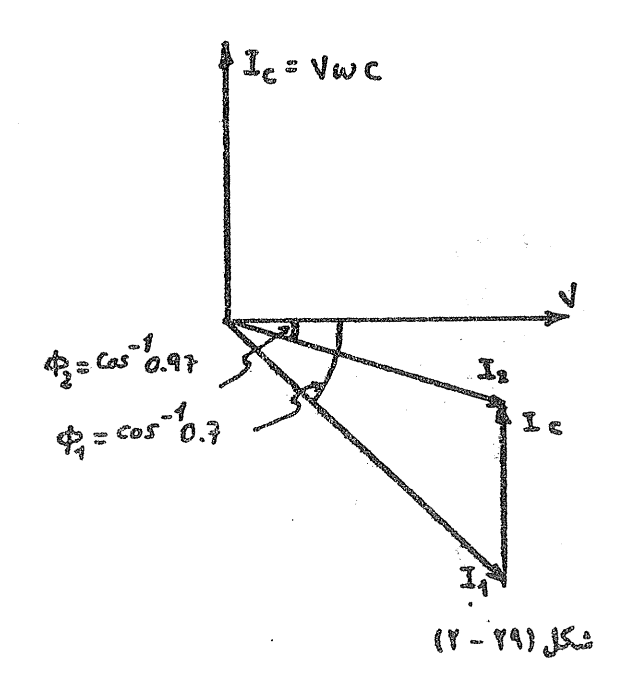
$$I_c = (I_1 \sin\Phi_1\ I_2 \sin\Phi_2)$$

$$= (I_1 \sin\Phi_1 - I_1 \frac{\cos\Phi_1}{\cos\Phi_2} \sin\Phi_2)$$

$$\frac{Kvar}{Kw} = \frac{I_c}{I_1 \cos\Phi_1} = (\frac{\sin\Phi_1}{\cos\Phi_1} - \frac{\sin\Phi_2}{\cos\Phi_2}) = \tan\Phi_1 - \tan\Phi_2$$



شكل (٢٨ - ٢)



شكل (٢٩ - ٢)

٤-٢ تحسين معامل القدرة لورش اللحام

Power Factor Improvement For Welding Plant

انتشرت منذ الحرب العالمية الثانية ورش اللحام الكهربى فى الصناعات المختلفة . وتنقسم عمليات اللحام الى نوعين :

- لحام القوس *Arc Welding*
- لحام المقاومة *Resistance Welding*

يتوقف استخدام أحد النوعين دون الأخر على مسافة اللحام اللازمة ، وسمك المادة المراد لحامها . فمثلا عندما تلحم ألواح معدنية سميكة ، كما فى صناعة متن السفن ، يستخدم لحام القوس الكهربى ، ولكن فى صناعة السيارات ، حيث تستعمل ألواح معدنية رقيقة ، يستخدم لحام منقوط (*Spot Welding*) ، وهو أحد أشكال لحام المقاومة . بإستثناء لحام القوس الكهربى بالتيار المستمر ، فإنه يتم توصيل ماكينات اللحام من خلال محول ، حتى يمكن الحصول على تيار مرتفع وجهد منخفض نسبيا ، وذلك للحصول على درجة الحرارة العالية اللازمة للحام . ينشأ عن استخدام اللحام الكهربى - لحام قوس أو مقاومة - عدم اتزان فى الحمل ، وانخفاض فى معامل القدرة ،ولذلك يجب استخدام مكثفات لتحسين معامل القدرة .

١- لحام القوس الكهربى *Electric Arc Welding*

خصائص حمل لحام القوس

تتكون معدات لحام القوس من محول ومنظم .

ففى عمليات اللحام المفردة يستخدم محول أحادى الوجه ذو حمل تقديرى متواصل عبارة عن ٣٦ ك . ف . ا - لعمليات اللحام المتعددة (٣ ، ٦ ، ٩ أو ١٢ عملية) يستخدم محول ثلاثى الوجه ذو قدرة تصل إلى ١٦٠ ك . ف . ا ، ويكون جهد الملف الابتدائى عادة ٣٨٠ - ٤٤٠ ڤولت ، وجهد الملف الثانوى ٨٠ - ١٠٠ ڤولت .

يكون تيار اللحام عادة متقطع ، ولكنه غير متأرجح بدرجة كبيرة خلال دورة تتكون من عدة ثوانى تصل حتى دقيقتان . معامل القدرة يبلغ حوالى ٠,٣٥ متأخر فى حالتى اللحام المفرد أو المتعدد .

تحسين معامل القدرة لمحول اللحام بالقوس :

لتحسين معامل القدرة لمحول اللحام بالقوس يتم توصيل مكثفات على الملف الابتدائى لمحول الفرن . ولايفضل توصيل المكثفات على الملف الثانوى ، للمحول نظرا للتغيير الكبير الذى يحدث فى الجهد الثانوى . ويتم توصيل المكثفات والمحول كوحدة واحدة . بسبب انخفاض معامل القدرة ، وارتفاع معامل التباين *(Diversity factor)* لحمل ماكينة اللحام بالقوس،
يجب ألا يصل معامل القدرة إلى قيمة مرتفعة ، مثل ٠,٩٦ أو ٠,٩٧ ، ولكن يجب التأكد أن تيار اللاحمل يساوى تقريبا تيار اللحام .

يتم تحسين معامل القدرة من ٠,٣٥ إلى حوالي ٠,٦٢٥ عند الحمل الكامل . قدرة المكثفات تكون ٥٠٪ من قدرة محول اللحام (ك . ف . ا) . ونتيجة تغيّير الحمل أثناء عملية اللحام فإن معامل القدرة يصل بسبب تركيب المكثفات إلى الوحدة عند نصف الحمل .

فى دورة اللاحمل ينشأ عن مجموعة المكثفات مع ماكينة اللحام معامل قدرة متقدم ، وبالتالى فإن متوسط معامل القدرة خلال الدورة الكاملة للعمل تكون أكبر من ٠,٦٢٥ متأخر ، وأحياناً تصل الى ٠,٩٥ متأخر .

فى حالة ماكينات اللحام متعددة الأغراض تكون قدرة المكثفات أقل من ٥٠٪ من قدرة محول اللحام (ك . ف . ا) وعادة تكون ٣٣٪ . تقليل قيمة قدرة المكثفات تقلل بالتالى من معامل القدرة ، وتكون حوالى ٠,٥ متأخر عند الحمل الكامل . ولكن نتيجة لارتفاع معامل التباين عند العمليات المختلفة للحام ، فإن متوسط معامل القدرة خلال الدورة اليومية يرتفع .

جدول (٩ -٢) يوضح قدرة المكثفات اللازمة في حالة استخدام ماكينة لحام لعملية مفردة، مع محول قدرة أحادى الوجه .

جدول (١٠-٢) يوضح قدرة المكثفات اللازمة فى حالة استخدام ماكينة لحام متعددة العمليات ، مع محول قدرة ثلاثى الأوجه .

شكل (٣٠-٢) يوضح توصيل مكثفات توازى مع الملف الابتدائى لمحول لحام أحادى الوجه ، ورسم مخطط المرحلات

٢- لحام المقاومة ***Resistance Welding***

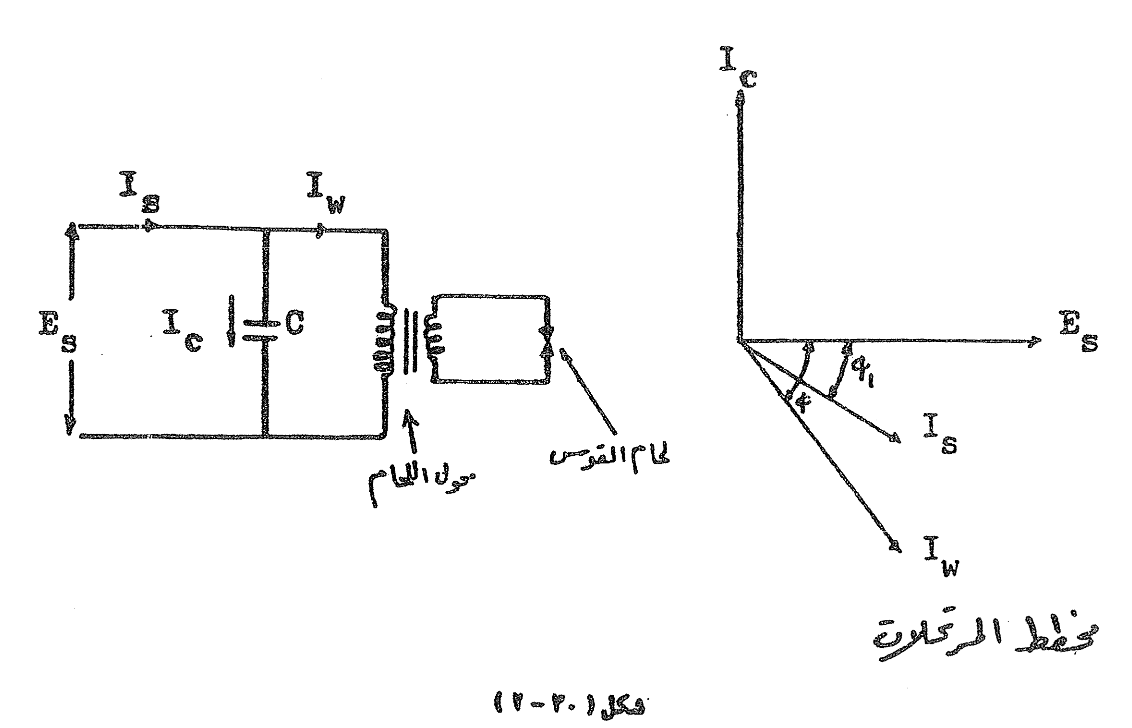
خصائص حمل لحام المقاومة :

جدول (٩ - ٢)

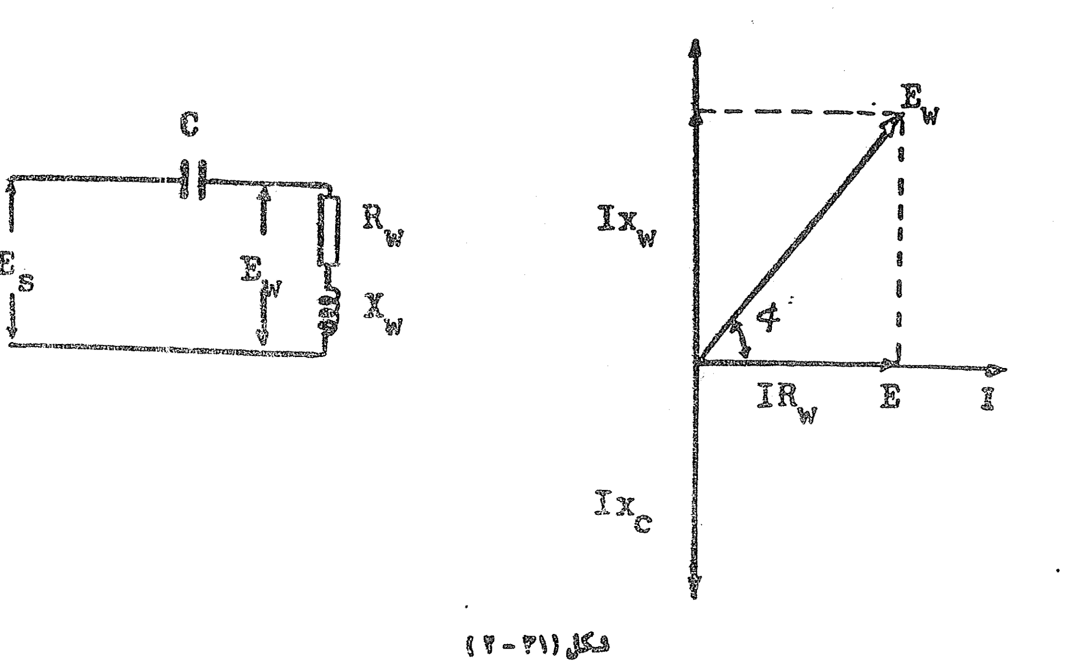
الحمل التقديرى المتصل KVA	متوسط معامل القدرة قبل التحسين	قدرة المكثفات Kvar	معامل القدرة بعد التحسين
٩	٠,٣٥	٤	٠,٥٥
١٢	٠,٣٥	١٦	٠,٦٢٥
١٨	٠,٣٥	٨	٠,٥٨
٢٤	٠,٣٥	١٢	٠,٦٢
٣٠	٠,٣٥	١٥	٠,٦٢
٣٦	٠,٣٥	١٨	٠,٦٢

جدول (١٠ - ٢)

عدد العمليات	أقصى قدرة KVA	الحمل التقديرى المتصل KVA	معامل القدرة قبل التحسين	قدرة المكثفات Kvar	معامل القدرة بعد التحسين
٣	٩٥	٥٧	٠,٣٥	١٦,٥	٠,٤٨
٦	١٩٠	٩٥	٠,٣٥	٣٠	٠,٤٩
٩	٢٨٥	١٢٨	٠,٣٥	٤٥	٠,٥١
١٢	٣٨٠	١٦٠	٠,٣٥	٦٠	٠,٥٣



شكل (٢٠-١٢)



شكل (٢١-١٢)

من مميزات استخدام لحام المقاومة : -

- لايحتاج الى زمن طويل للحام .

- التكاليف منخفضة .

- استهلاك الكهرباء منخفض جدا .

من عيوب استخدام لحام المقاومة :

- عدم اتزان الحمل .

- التأرجح المرتفع فى الحمل .

ينقسم لحام المقاومة الى :

١ - لحام نقطى أو إسقاطى *Spot and Projection Welders*

من خصائص هذا اللحام أن دورة اللحام قصيرة (حوالى ٢ دورة / ثانية) ويحتاج الى تيار كبير .

٢- لحام درزى *Seam Welders*

من خصائص هذا اللحام انه يستغرق وقت طويل (دورة اللحام طويلة نسبيا)

٣- اللحام التناكبى *Buttflash Butt Welders*

دورة اللحام أطول من دورتى اللحام النقطى والدرزى .

جميع أنواع لحام المقاومة لها نفس خصائص الحمل الآتية : -

- الحمل متقطع وغير متزن . دورة التشغيل (النسبة بين زمن سريان التيار الكهربى الى زمن الدورة الكاملة للعملية) حوالى ٢٪ وتكون اكبر من ذلك فى الحمل التناكبى .

- التيار اللحظى للحام يكون اكبر من مقنن تيـــار التشغيل المتواصـــل لماكينـــة اللحـام *(Continous Rating)*

- معامل القدرة يتراوح بين ٢ ر. - ٥ ر. متأخر .

تحسين معامل القدرة لماكينة لحام المقاومة .

- فى حالة ماكينات اللحام اليدوية ذات القدرات الصغيرة :

يتم تحسين معامل القدرة الى حوالى ٩٥ر. أو أكثر ، وذلك بتوصيل المكثفات مباشرة على التوازى مع الملف الابتدائى لمحول اللحام من خلال مفتاح تلامس ، حيث يعتبر المكثف والملف والكاوية كوحدة . تفصل الكهرباء عن المكثفات بين عمليات اللحام المتتالية ، حيث يتم تفريغ الشحنة سريعا خلال مقاومة الملف الابتدائى لمحول اللحام . وعلى ذلك يمكن اختيار قدرة كاوية اللحام دون الخوف من حدوث أية أضرار بالمكثفات أو مفتاح التلامس .

معامل القدرة أثناء عمليات اللحام يتناسب عكسيا مع طول الدوائر الثانوية ، والتى يجب أن تكون قصيرة بقدر الامكان ، وتعمل بعض انواع اللحام النقطى - الدرزى غالبا عند معامل قدرة بين ٢ر٠ - ٣ر٠ متأخر .

تحتاج ماكينات اللحام التي تبلغ قدراتها حتى ١٠٠ ك . ف . ا - عندما تستخدم لخطوط الانتاج - الى تحكم آلى لتنظيم الزمن ، الحمل ، ضغط القطب ، وهنا يحتاج الى دوائر تحكم ، تستخدم فيها أجهزة الاجنيترون *(Ignitron)* لتحديد لحظة الاشعال فى الثيريزتور *(Thyristor Device)* والدوائر المساعدة . هذا ، واذا تم توصيل المكثفات خلال الملف الابتدائى لمحول اللحام ، بغرض تحسين معامل القدرة ، فإن دوائر التحكم الآلى لاتتأثر بتيار المكثفات الإندفاعى *(inrush current)* عند التوصيل ، أو تيار تفريغ الشحنة عند الفصل . واذا كان من الصعب تحديد مكان تركيب المكثفات . فيمكن تركيبها عند نقطة دخول الكهرباء لمحول اللحام من خلال مصهرات عزل . واعتمادا على حجم المكثفات ، والنظام الكهربى للمصنع ، يجب تجهيز المكثفات على أساس أن يتم فصلها عن المنظومة فى فترة عدم التشغيل ، أى فى نهاية العمل اليومى ، أو دورة العمل .

وكطريقة مرادفة يمكن توصيل المكثفات من خلال مفتاح تلامس مترابط *(Inter locked)* مع مفتاح التلامس الرئيسى لماكينة اللحام ، وهذه طريقة أكثر تكلفة بطبيعة الحال . هذا ، وللحصول على معدل لحام سريع يمنع استخدام مفتاح تلامس ذى نقط التلامس العادية *(Clapper Type Contactor)* ولكن يستخدم مفتاح التلامس المفرغ *(Vacuum Contactor)* أو مفتاح تلامس استاتيكى بالثيريزتور *(Thyristor Switching Device)*

يمكن اضافة مقاومة صغيرة القيمة لتفريغ شحنة المكثفات ، للتغلب على أى موجات عارمة فجائية .

مفتاح تلامس المكثفات يكون له سعة أكبر من القيمة المناظرة لتيار التغذية الدائمة ، ويفضل استخدام مفتاح من النوع الاستاتيكى ، الذى يعمل بأجهزة الثيريزتور .

إذا لم يتيسر الحصول على قيمتى الحمل ومعامل القدرة لماكينة اللحام من الصانع الاصلى ، فإنه بالامكان عمل قياسات للحصول على قيمتى الحمل ومعامل القدرة للماكينة بالموقع .

تحسين معامل القدرة لماكينة لحام المقاومة بمكثفات توالى .

(Series Capacitors for Resistance Welders)

ماكينات لحام المقاومة الكبيرة ، خاصة تلك التى تستخدم طريقتى لحام نقطى واسقاطى ، تسحب تياراً كبيراً من الشبكة الكهربائية لمدة قصيرة جدا (غالبا جزء من الثانية) ويكون معامل القدرة فى حدود ٢,٠ - ٣,٠ متأخر .

اذا سحبت ماكينة اللحام تياراً كبيراً في مصنع معين ، وكانت الممانعة الحثية للمصدر الكهربى كبيرة نوعا ما ، ينتج تأرجح كبير فى الجهد ، ويكون هذا مصدر ازعاج لباقى المستهلكين المشتركين على نفس المصدر الكهربى لهذا المصنع . وفى الوقت نفسه تحدث مشاكل فى ماكينة اللحام نتيجة التغير الكبير فى الجهد ، وهذا هو مايسبب ظاهرة التأرجح فى الجهد . وتوصيل مكثفات على التوازى مع محول ماكينة اللحام لايعالج هذا التأرجح فى الجهد. والحل الأمثل هو توصيل مكثفات على التوالى مع الملف الابتدائى لمحول لحام المقاومة، فينشأ جهد سعوى يعمل على التعادل مع هبوط الجهد الحثى ، أو تقليله ، مما يؤدى إلى تعويض الجهد المفقود آليا ، وبالتالى يتم تنظيم الجهد .

ويمكن القول أن هناك فعلا مكثفات تعويض توالى تستخدم بنجاح لتحسين معامل القدرة لماكينات لحام المقاومة كبيرة الحجم ، وغالبا ماتصمم ماكينة اللحام ومكثفات التوالى كوحدة واحدة معا ، حيث يكون حجم المكثف كبيراً فيحفظ بخلية مستقلة .

هذا ، ونظراً لأن الجهد الناتج على المكثفات ، الموصلة على ينبوع جهده مابين ٣٨٠ - ٤٤٠ ڤولت يكون فى حدود ٥٠٠ - ٦٠٠ ڤولت أو أعلى،يجب أن تتحمل المكثفات الموصلة على التوالى جهداً أعلى من جهد الينبوع .

ومن هذا كله نرى أنه عند تصميم المكثفات ، يجب معرفة قيمة ممانعة الملف الابتدائى لمحول اللحام ، وقيمة معامل القدرة ، وقيمة تيار الحمل .

عند نقاط التقسيم المختلفة فى المحول *(Tapping Points)* تكون قيمة المكثفات متغيرة ،

وهى تنفصل آليا مع فصل الحمل . وأن معرفة قيم تيار اللحام المختلفة عند النقاط المختلفة للمحول تساعد فى حساب قيم الجهد المختلفة الناشئة على هذه المكثفات ، ويجب أن تصمم المكثفات ، ويجب أن تصمم المكثفات حينئذ على أساس أكبر قيمة للجهد تعطيها الحسابات .

ومن حيث أن تيار اللحام يمثل حالة قصر فى الدائرة ، فان مكثفات التوالى لاتحتاج إلى حماية ضد زيادة الحمل ، ولكن من المفيد توصيل ڤولتميتر على طرفى مكثف التوالى فقط .

فى حالة توصيل مكثفات التوالى مع ماكينات اللحام التى تعمل بالتحكم الاليكترونى ، يكون وقف عمل أجهزة التفريغ بين فترات تشغيل اللحام ضماناً لوقف شحن المكثفات حينئذ ، ممايؤدى الى تجنيب اعادة الشحن المفاجىء *(Transient)* ، وهى العملية التى يمكن حدوثها فى بداية كل فترة تشغيل لماكينة اللحام . وعلى هذا الأساس يتم توريد دائرة تفريغ خارجية منفصلة ، حتى يمكن للمكثف أن يفرغ شحنته بأمان عند نهاية كل فترة تشغيل أو وردية .

شكل (٢١-٢) يوضح طريقة توصيل مكثفات توالى مع ماكينة لحام مقاومة ، وكذلك رسم مخطط مرحلى للجهد والتيار .

يتم الحصول على معامل قدرة يساوى الوحدة من خلال تقليل الجهد على الملف الابتدائى لمحول اللحام من E_W إلى E ، وذلك عن طريق توصيل مكثفات توالى . أما بالنسبة لمشكلة تأرجح الجهد للمصانع الكبيرة ، التى تحتوى على عدد من ماكينات لحام المقاومة الكبيرة ، فإنها لاتحل سواء كانت المكثفات متصلة على التوالى ، أو على التوازى ، وعلى ذلك فإنه :

يجب اختيار نظام تحكم آلى للمساعدة على تقليل تيار اللحام بقدر الامكان . ويتم ذلك عن طريق تنظيم تشغيل أقل عدد من ماكينات اللحام فى الوقت نفسه . وإذا لم يتيسر أخذ هذا الاحتياط ، يجب مراعاة أن تكون ممانعة الأحمال المتصلة مع ماكينات لحام المقاومة على نفس المصدر صغيرة ، كما يجب مراعاة عدم توصيل احمال منزلية على هذا المصدر الكهربى .

تحسين معامل القدرة لاحمال لحام كبيرة جدا

تظهر لنا فى الحياة العملية مفارقات كثيرة ، مثال ذلك عند المقارنة بين تشغيل ماكينة لحام كبيرة بمصنع صغير وتشغيلها فى مصنع كبير به عدة ماكينات لحام كبيرة ، سواء كانت ماكينات لحام قوس أو مقاومة . فالمصنع الكبير عادة مايكون مجهزاً وله قدرة استهلاك كهربى كبيرة تتمشى مع كبر المصنع . ومن ناحية أخرى يراعى فى المصنع عوامل عديدة تعمل على إتزان الاحمال على الأوجه الثلاثة (نتيجة توصيل ماكينات اللحام والمعدات بطريقة منتظمة على

الأوجه الثلاثة ، أو بطريقة نحصل منها على اتزان الحمل) .

كذلك يمكن تشغيل ماكينات اللحام بالتتالى عن طريق برنامج زمنى ، بحيث يقلل بقدر الامكان عدد الماكينات التى تعمل فى نفس اللحظة . وعلى ذلك تستخدم بنجاح مكثفات تحكم آلى للأوجه الثلاثة ، فى حالتى كل من لحام القوس والمقاومة . ويجب عمل دراسة للاحمال على مدى زمن معين ، حتى يمكن تقسيم أحمال المصنع للحصول على الاتزان المطلوب . وأحيانا يحتاج الأمر الى تركيب محول تيار على الوجه الأكثر تحميلا ، لعمل تحكم للمكثفات عن طريق متمم متصل به .

وهذا النظام مستخدم فى خطوط انتاج السيارات - خطوط انتاج هياكل الطائرات - ومصانع براميل الزيت .

٥-٢ تحسين معامل القدرة لأفران القوس الكهربى

(Power factor for Electric Arc Furnace)

تستخدم أفران القوس الكهربى لصهر الحديد والصلب (انتاج الصلب من الخردة) ، ويتم انصهار المعادن بفرن القوس الكهربى عن طريق حدوث قوس كهربى بين قطبى الفرن ، حيث تصل درجة حرارة هذا القوس الى حوالى ٥٠٠٠ ° م .

فى خلال ثلاثين عاما مضت تم انتاج أفران القوس الكهربى المباشر ، حيث يغمر قطبا القوس بالمعدن ، وذلك بكميات تصل إلى ٤ طن ، بقدرة تتراوح بين ١٥٠٠ الى ٢٠٠٠ ك .ف .ا. ثم تم إنتاج أفران بأحمال تصل إلى ١٠٠ طن ، ويقدرة قد تبلغ ١٥٠ م . ف . ا . ولكن القدرات الشائعة تقع بين ١٠ - ٦٠ م . ف . ا .

هناك بعض أنواع أفران القوس الكهربى والتى تعمل بالتيار المستمر :

وفى هذه الحالة يستخدم محول تقويم التيار *(Rectifying Current Converter)* لتحويل التيار المتغير الى تيار مستمر . وذلك لإنتاج تيتانيوم ، وسبائك صلب معينة ، تحتاج إلى درجة حرارة عالية جداً . غالباً يتم توصيل الفرن على الملف الثانوى لمحول قدرة ، له مواصفات خاصة ، ليتحمل التشغيل غير المتزن ، والمتأرجح ، للفرن ، حيث يكون جهد الملف الابتدائى لمحول القدرة ١١ ك . ف . أو ٣٣ ك . ف أو ٦٦ ك . ف . ، وبقدرات مختلفة ويتم تشغيل الفرن على دورات على النحو التالى :

بداية يتم ملىء الفرن بكمية مبدئية من الخردة المراد انصهارها ، ثم تبدأ عملية الانصهار - فى هذه الحالة يكون الحمل مرتفعاً ، وغير متزن (متأرجح) ، ويصل معامل القدرة إلى حوالى ٠,٧ متأخر ، وهو مايعرف بدورة الترقيق *(Breaking Down Period)* . وفى خلال ذلك تكون قيمة جذر متوسط المربع *(r.m.s)* للحمل بالميجا ڤولت أمبير مساوية قدرة محول الفرن تقريبا *(MVA)* - وعندما يتم صهر هذه الكمية المبدئية من الخردة ، يتم اضافة جزء آخر من الخردة حتى يمتلىء الفرن ، بالكمية المطلوب انصهارها .

بعد إنصهار جميع الخردة تبدأ دورة تنقية المعادن *(Refining or Holding Period)* وفى خلالها ينخفض الحمل ويستقر ، ويرتفع معامل القدرة الى حوالى ٠,٩ متأخر . وفى خلال هذه الدورة يتم إزالة الخبث ، كما يتم فى حالة الاحتياج إلى أنواع معينة من الصلب إضافة مواد أخرى . هذا ويبلغ زمن الانصهار الكلى حوالى ساعة الى ساعة ونصف ، حيث يكون زمن دورة

الترقيق أكثر من نصف هذا الزمن .

عند اختيار قدرة المكثفات اللازمة لأفران القوس الكهربى يجب مراعاة مايأتى: -

١- تكون أعلى قيمة للحمل خلال دورة الترقيق ، عن طريق تحسين معامل القدرة ، بحيث يبلغ حوالى ٩٨, ٠ .

٢ - تكون قدرة المكثفات عادة من ٣٠ - ٤٠٪ من قدرة محول الفرن ، وذلك لتحسين معامل القدرة الى ٩, ٠ فقط .

٣ - عند أخذ قيم الأحمال ، خلال دورة التشغيل الكاملة ، تكون قدرة المكثفات أقل من ذلك . وتعتبر المكثفات وحدة أساسية عند شراء أفران القوس الكهربى ، ويتم عادة تحديد قدرتها بمعرفة الصانع .

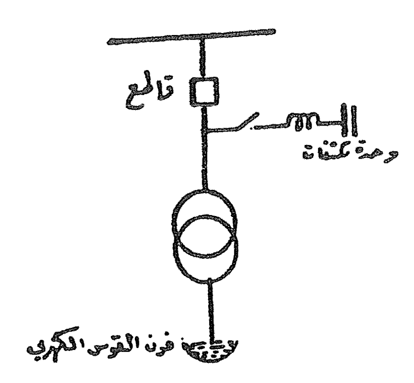
طرق توصيل المكثفات لفرن القوس الكهربى :

١ - إذا كان المصنع يحتوى على فرن أو اثنين فقط فيمكن توصيل وحدة المكثفات على الملف الابتدائى لمحول الفرن - حيث يمكن تصميم المكثفات حتى جهد ٦٠ ك . ڤ - ولايتم توصيل المكثفات على الملف الثانوى لمحول الفرن بسبب تغير جهد الفرن بين ٨٠ ڤولت إلى ٢٣٠ ڤولت .

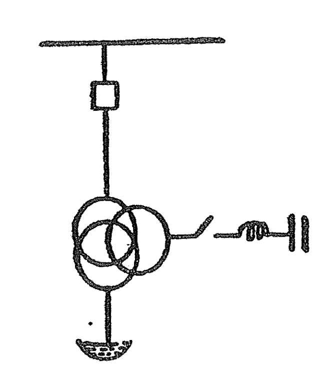
شكل (٣٢ -٢) يوضح طريقة تمثيل وحدة مكثفات على الملف الابتدائى لمحول الفرن .
نظراً لتغير حمل الفرن خلال دورة الانصهار ، يكون تركيب مكثفات ثابتة سببا فى إنتاج معامل قدرة متقدم خلال انخفاض الحمل فى دورة تنقية المعدن - ولكن ، على حسب حجم المصنع ، تستهلك الزيادة فى القدرة غير الفعالة *(Kvar)* فى تغذية الاحمال الاخرى بالمصنع ، مما ينشأ عنه معامل قدرة متأخر .

٢- إذا كان المصنع يحتوى على فرن واحد وباقى أحمال المصنع غير محسوسة ، فإنه يفضل تركيب وحدة المكثفات على الملف الثالث *(Tertiary Winding)* لمحول فرن يحتوى على ثلاثة ملفات : ملف ابتدائى - ملف ثانوي يتم توصيل الفرن عليه - ملف ثالث لتوصيل وحدة المكثفات عليه - كما فى شكل (٣٣ - ٢) .

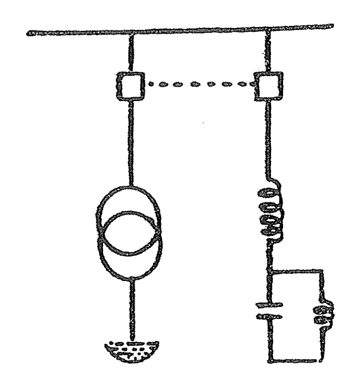
٣ - فى حالة المصانع الكبيرة ، والتى تحتوى على أفران قوس كهربى ذات قدرات عالية ، ففى هذه الحالة لايتم توصيل المكثفات علي الملف الابتدائى ، كما لايتم



شكل (٢٢ - ٢)



شكل (٢٣ - ٢)



شكل (٢٤ - ٢)

توصيلها على الملف الثالث - حيث يكون سعر الملف الثالث فى هذه الحالة مرتفعاً جداً - ولكن يتم توصيل المكثفات على القضبان الرئيسية ، من خلال قاطع تيار ، يكون توصيله وفصله معتمدا كليا على القاطع الرئيسى لتوصيل الفرن - كما فى شكل (٣٤ - ٢) .

فى جميع الحالات السابقة تكون المكثفات مجهزة بمسار لتفريغ الشحنة سريعاً .

فى حالة التوصيل كما فى شكل (٣٤ - ٢) ، فإن المكثفات تجهز بملف تفريغ اضافى ، للتأكد من انخفاض الجهد فى زمن قصير جداً .

٤- إذا كان بالمصنع عدد كبير من الافران متصلة على التوازى إلى نفس القضبان الرئيسية ، كما فى شكل (٣٥ - ٢) - فى هذه الحالة يجب عمل برنامج خاص لتشغيل المكثفات بحيث يمكن تجنب توصيل المكثف عند أقصى حمل للأفران - ويفضل توصيل أكثر من وحدة مكثفات على القضبان الرئيسية ، من خلال قاطع لكل منهم .

يجب أن يتحمل قاطع التيار وملحقاته مايأتى : -

- عمليات تشغيل الفرن فى الدورات المختلفة - دورة التنقية ودورة الترقيق .
- الارتفاع فى الجهد *(Over Voltage)* ومايترتب عليه .
- اعادة الاشعال *(Restrike of Switch)* .

العلاقة بين قدرة المكثفات وقدرة محول الفرن :

قدرة محول الفرن MVA Rating of Arc furnace Transformer	قدرة المكثفات Mvar Rating of Capacitor Bank
٥	١,٥ - ٢
١٢,٥	٤ - ٥
٢٥ - ٣٠	٧,٥ - ١٢
٥٠ - ٦٠	١٥ - ٢٥
١٠٠	٤٠ - ٤٥
١٥٠	٦٠ - ٧٠

فى حالة محولات الفرن للقدرات المنخفضة حتى ٧,٥ م . ف . ا لايكون هناك تيارات توافقية . فى حالة محولات الفرن للقدرات العالية حتى ١٥٠ م . ف . ا تظهر التوافقيات الثالثة - الخامسة - السابعة - ويجب فى هذه الحالة استخدام ملفات موصلة على التوالى (Series De-tuning Reactor) لتفادى حدوث الرنين .

وتجنباً لتأرجح الجهد (Flicker) ، الناشىء عن عدم اتزان أحمال الفرن ، يتم تركيب معوضاً لجهد التأرجح (Voltage Flicker Comparator) ، أو تركيب ثيريزتور (Thyristor) لتقويم التيار (Current Rctification) . هذا ، وإذا أمكن التغلب على تأرجح الجهد فإن متوسط الجهد على الفرن يكون مرتفعاً ، مما يؤدى الى تقليل زمن الانصهار الكلى للمعادن ، فيمكن بالتالى زيادة الانتاج .

مثال :

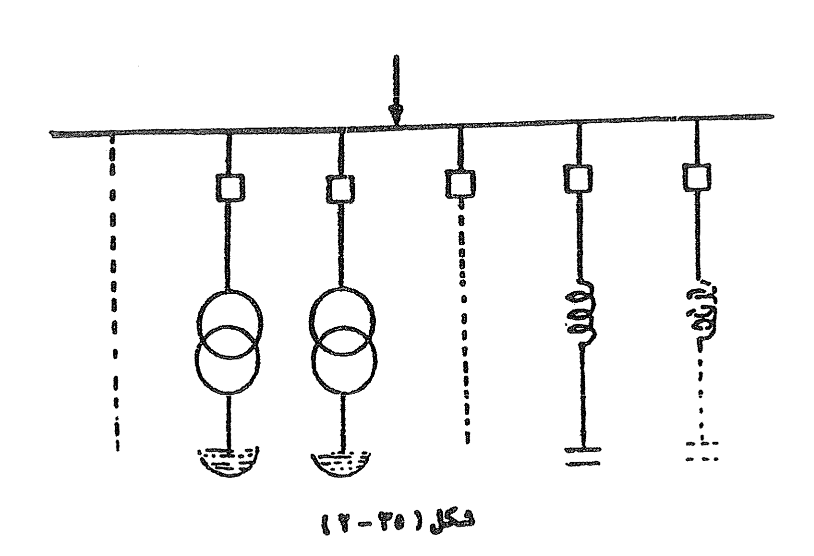
شكل (٣٦-٢) يوضح استخدام مكثفات ثابتة ٦ ك .ڤار ، ومكثفات متغيرة من خلال عمل مقوم للتيار ثيريزتور (Thyristor) لتحسين معامل القدرة ، والتخلص من تأرجح الجهد .

والجدول التالى يوضح القيم المختلفة للجهد والقدرة ومعامل القدرة ، والزمن فى حالتى استخدام الثيريزتور وعدم استخدامه .

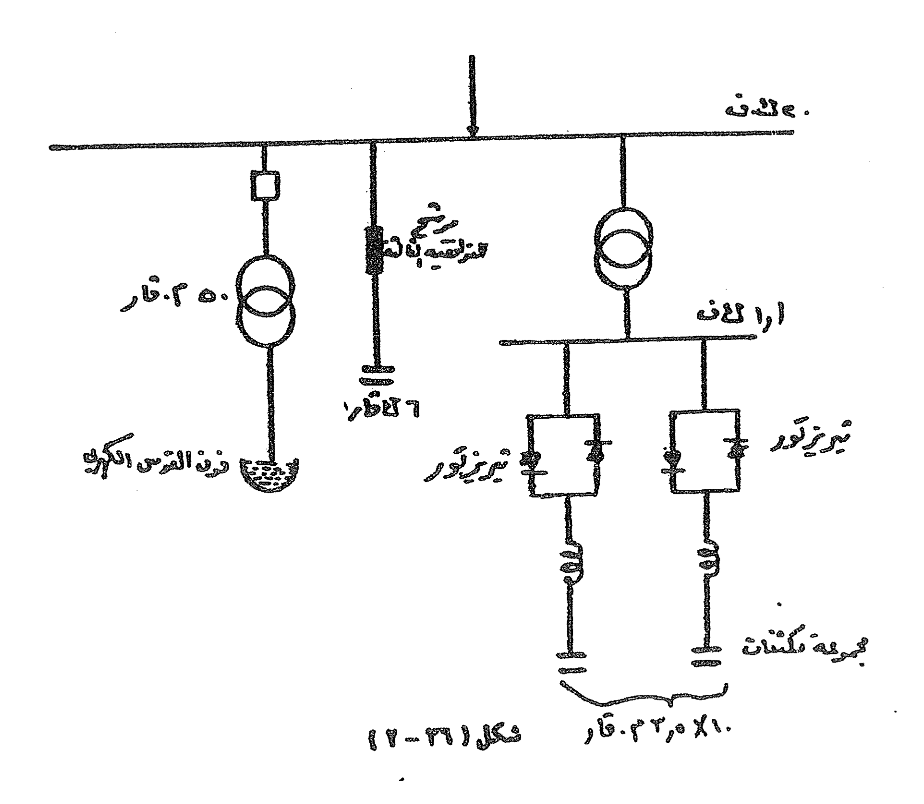
	بدون ثيريزتور	باستخدام ثيريزتور
جهد التشغيل عند اللاحمل Kv	٢١,٤	٢١,٤
جهد التشغيل عند حمل كامل للفرن Kv	١٨,٢	٢٠,١
قدرة الفرن Mw	٢٩	٣٥,٥
معامل القدرة عند القضبان	٠,٧٣	٠,٩٩
الزمن الكلى للانصهار بالدقيقة	١١٨	١٠٢

من الجدول السابق يتضح أنه نتيجة تركيب مقوم التيار ينشأ :

- ارتفاع جهد التشغيل عند حمل كامل للفرن .
- ارتفاع القدرة .
- ارتفاع معامل القدرة .
- انخفاض الزمن الكلى للانصهار .



شكل (٣٥-٢)



شكل (٣٦-٢)

٦ - ٢ تحسين معامل القدرة لأفران الجرافيت (Graphitising Furnaces)

يعتبر فرن الجرافيت أحد تطبيقات استخدام مكثفات التوالى ، لتحسين معامل القدرة ، فى الصناعة .

ويشكل الجرافيت على هيئة قضبان بقطر حتى ٥٠٠ مم ، حيث يستخدم بالمفاعلات الذرية ، وبأفران القوس الكهربى كأقطاب .

يتم الحصول على الجرافيت من الكربون . ويكون ذلك بوضع الكربون الخام فى فرن الجرافيت ، مع إمرار تيار كهربى من خلال الكربون ، حيث تستمر دورة الفرن عدة أيام ، وذلك للحصول على حرارة ٢٦٠٠ °م ، التى يتحول عندها الكربون إلى جرافيت . خلال هذه الدورة ترتفع قيمة التيار حتى تصل الى أقصى حد لها ، وهو حوالى ٤٠ ك . أمبير فى نهاية الدورة .

تتم تغذية فرن الجرافيت كهربيا من خلال محول قدرة أحادى الوجه ، يكون جهد الملف الابتدائى له حوالى من ٦ إلى ١٥ كيلو ڤولت - وجهد الملف الثانوى من ٤٠ - ٢٠٠ ڤولت .

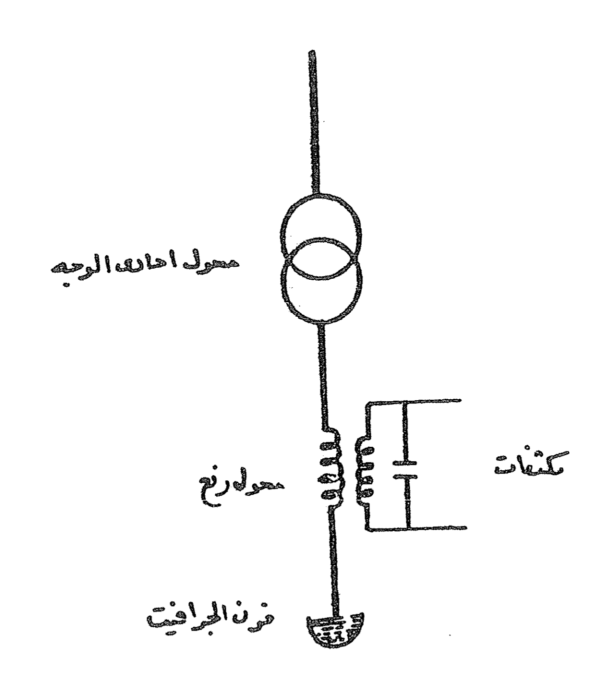
معامل القدرة للفرن يتناسب عكسيا مع تيار الفرن ، فكلما زاد التيار انخفض معامل القدرة . فى بداية التشغيل يكون معامل القدرة مساوياً الوحدة - ثم تأخذ درجة حرارة الكربون فى الارتفاع ، فتنخفض قيمة المقاومة ويرتفع التيار ، وينخفض بالتالى معامل القدرة حتى يصل الى حوالى ٠.٤ متأخر ، عند تيار ٤٠ كيلو أمبير بالملف الثانوى - بإنتهاء دورة التسخين ترتفع نسبة $\frac{X}{R}$ للدوائر الثانوية من ٠.١ - ٢ .

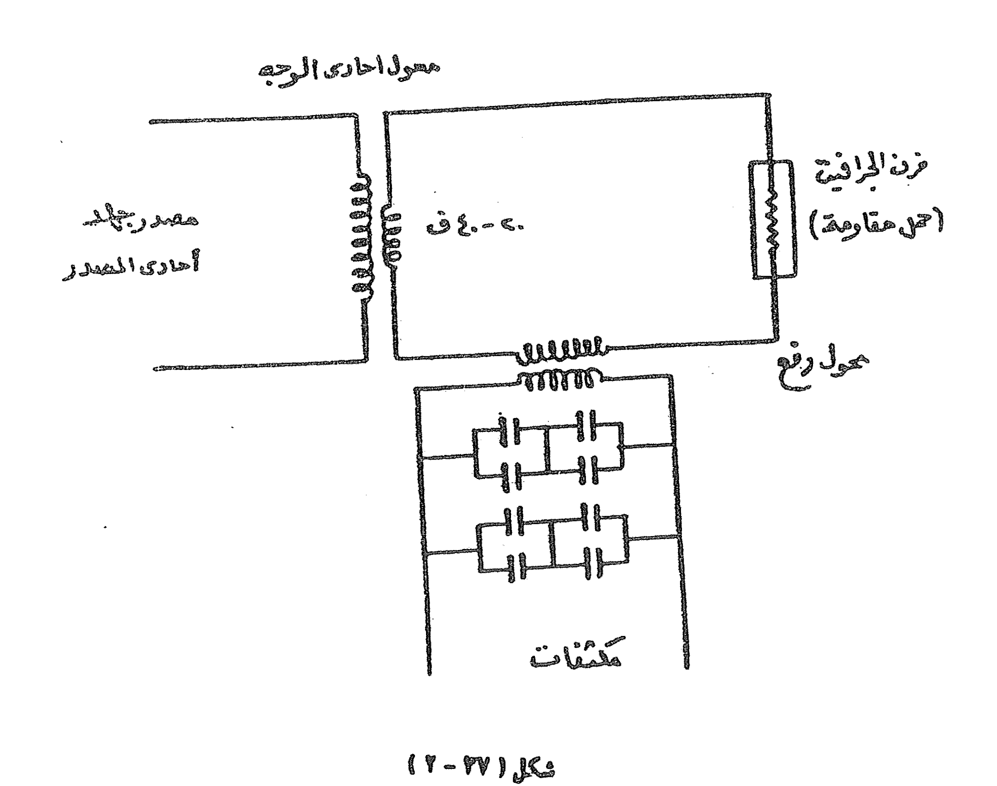
نظراً لتغير معامل القدرة مع التيار عكسيا فإنه يفضل توصيل مجموعة مكثفات على التوالى مع الملف الثانوى لمحول الفرن ، وذلك من خلال محول رفع الجهد . ويلاحظ انه لايمكن توصيل المكثفات مع الملف الثانوى لمحول الفرن مباشرة ، وذلك بسبب تغيير جهد الملف الثانوى من ٢٠٠ - ٤٠ ڤولت . ولهذا السبب يتم توصيل محول الرفع - المصمم خصيصاً لهذا الغرض - حيث يكون أقصى جهد بين ٢.٤ - ٤.٨ كيلو ڤولت ، ثم يتم توصيل المكثفات على الملف الثانوى له . حيث أن أقصى تيار يمر فى الملف الثانوى لمحول الفرن يبلغ حوالى ٤٠ ك . أمبير - حالة قصر حقيقية - فإنه من غير المرغوب فيه تركيب وقاية ضد إرتفاع الجهد للمكثفات .

يحتاج محول فرن ذى قدرة ٤ ميجا ڤولت أمبير الى مجموعة مكثفات قدرة ١٠ ميجا ڤار . وفى حالة عدم استخدام المكثفات ، فقد تصل قدرة محول الفرن إلى ١٠ ميجا ڤولت أمبير .

توصل كل وحدة من مجموعة المكثفات من خلال مصهر . وحيث أن أقصى جهد بين ٢,٤ - ٤,٨ كيلو ڤولت ، فإنه يفضل تقسيم المكثفات إلى مجموعتين موصلتين على التوالى ، بحيث تكون كل مجموعة منهما عبارة عن مجموعة من المكثفات المتوازية . ويتم استخدام نظام حماية ضد عدم اتزان الجهد . إذ حيث أن المكثفات متصلة على التوالى ، فإن أى فقد فى مجموعة المكثفات سوف يؤدى إلى ارتفاع الجهد بين طرفى كل الوحدة . ولذلك يكون من الأهمية لمكان اضافة نظام انذار عند ارتفاع الجهد على وحدات المكثفات ، وكذلك وجود ڤولتميتر يوضح قيمة الجهد .

شكل (٣٧ - ٢) يوضح توصيل مجموعة مكثفات لفرن الجرافيت .


محول احادى الوجه
محول رفع
مكثفات
فرن الجرافيت


محول احادى الوجه
فرن الجرافيت
(حمل مقاومة)
٢٠-٤٠ ف
محول رفع
مكثفات

شكل (٢٧ - ٢)

٧-٢ معامل القدرة لأفران الحث *Power Factor For Induction Furnace*

تستخدم أفران الحث لصهر المعادن ومعالجتها حرارياً .

ويوجد نوعين من أفران الحث :

١ - فرن الحث ذو القلب : *Cored Induction Furnace (Channel Type)*

تعتبر القدرة الكهربائية (Kw) لفرن الحث صغيرة نسبياً ، ويكون حمل الفرن مستقراً ومتوسط معامل القدرة حوالى ٠,٧ متأخر .

يتم توصيل وحدات المكثفات على الملف الابتدائى لمحول الفرن مباشرة ، وذلك من خلال مفاتيح تحكم فى الفرن ، ويمكن الحصول على معامل قدرة ٠,٩٥ .

تستخدم أفران الحث ذات القدرات الصغيرة بنجاح لصهر النحاس الأصفر وسبائك النحاس . وتستخدم الأفران ذات القدرات المتوسطة لسبائك الحديد ، التى تحتاج الى درجات حرارة عالية - يمكن أيضاً استخدام سبائك الالومنيوم ولكن بعد عمل تعديل معين فى الفرن .

يمثل شكل (٣٨ - ٢) فرن الحث ذو القلب ، ويتم تشغيله من خلال مغير جهد ، ومركب عليه مكثفات مرحلية .

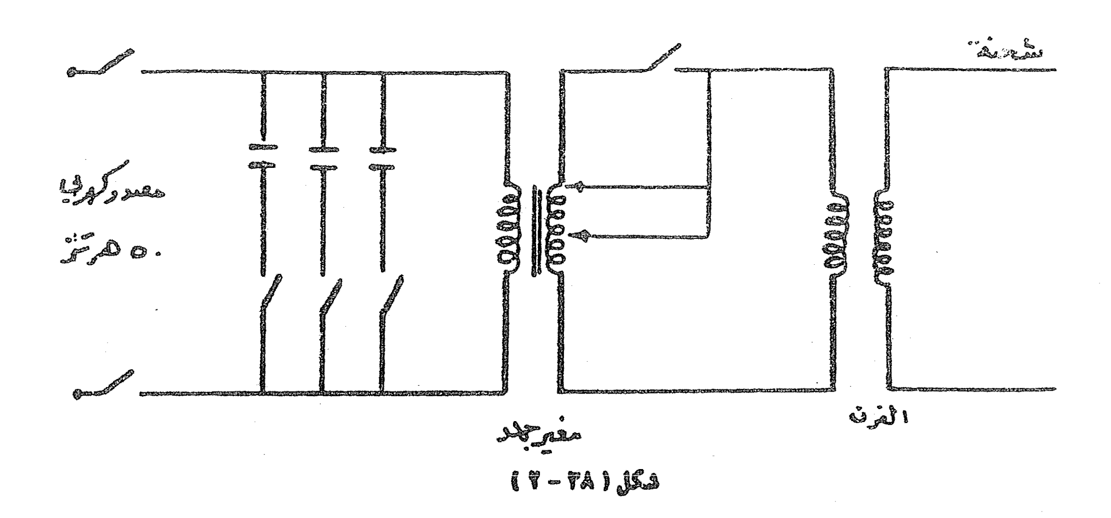
يمر التيار خلال الملف الابتدائى الموجود بجسم الفرن - القلب الحديدى عبارة عن رقائق - ينتقل التيار بالحث الى الملف الثانوى ، الذى تقفل دائرته خلال المادة المراد صهرها - وبالتالى تنتج الحرارة - البوتقة تتأرجح بصفة مستمرة حتى يمكن انتقال الحرارة خلال المادة ، فتنصهر بالكامل .

يعمل فرن الحث ذو القلب عند التردد العادى ٥٠ هرتز ، ويتم التبريد عن طريق الهواء طبيعياً .

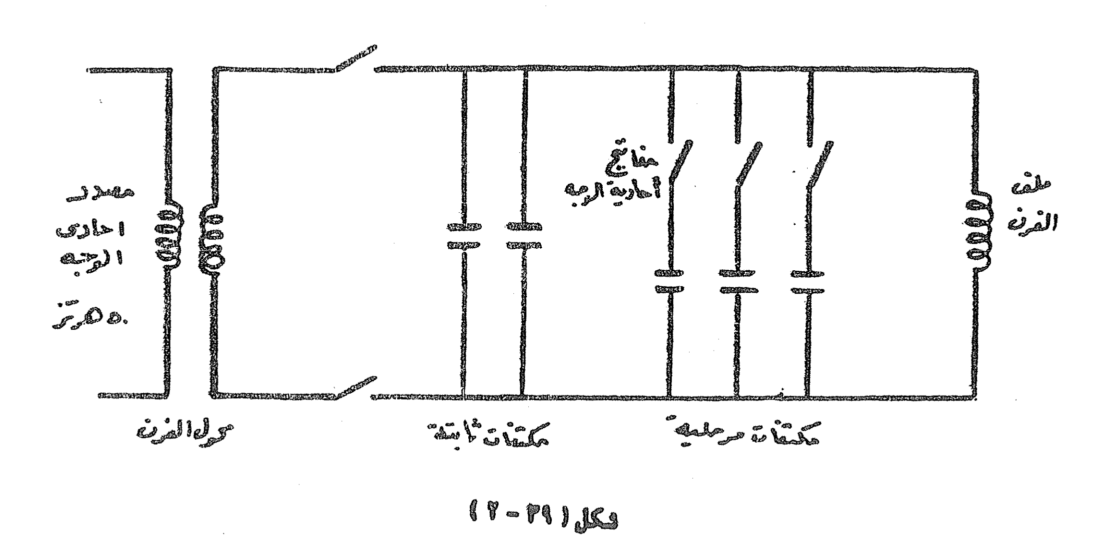
تستخدم بوتقة لكل نوع من السبائك .

٢- فرن الحث بدون قلب : *Coreless Type Induction Furnace*

يوجد نوعان من فرن الحث بدون قلب ، أحدهما يعمل عند التردد العادى ٥٠ - ٦٠ هرتز - والآخر يعمل عند الترددات المتوسطة ٠,٥ - ١٠ ك . هرتز.



شكل (٢٨ - ٢)



شكل (٢٩ - ٢)

أ - فرن الحث بدون قلب للتردد العادى *Main Frequency Type*

فرن الحث بدون قلب عبارة عن ملف يحيط جسم البوتقة - ويسمى الملف فى هذه الحالة عضو الحث -وتعتبر المادة المراد انصهارها هى القلب . يغذى الفرن من مصدر أحادى ، ٥٠ - ٦٠ هرتز ، ويكون معامل القدرة بدون استخدام مكثفات ٠,١٥ متأخر . ويمكن الحصول على مادة منصهرة بسرعة جدا من هذا الفرن فى حدود سعة من ٠,٥ - ٣٠ طن .

وتعتبر المكثفات من المكونات الرئيسية والأساسية لفرن الحث ، ويتم تحسين معامل القدرة عادة حتى الواحد الصحيح تقريباً .

يجب مراعاة الآتى عند تحديد سعة المكثفات اللازمة :

- أثناء عمليات الانصهار تزيد القدرة بالكيلو وات ، بينما ينخفض معامل القدرة ، وعلى ذلك يجب تقسيم المكثفات على النحو التالى :

تكون ٤٠٪ من قدرة المكثفات ثابتة .

وتكون ٦٠٪ من قدرة المكثفات متغيرة .

- تكون قدرة المكثفات الكلية عبارة عن ٦ أو ٧ مرات قدرة محول الفرن بالكيلو وات. فمثلا قدرة محول فرن ٩ ميجا وات تحتاج الى مكثفات قدرتها ٦٣ ميجا فار .
يوضح شكل (٣٩ - ٢) توصيل فرن الحث بدون قلب من خلال محول فرن ومجموعة مكثفات ثابتة ومتغيرة .

يستخدم هذا الفرن لانتاج المواد الحديدية وغير الحديدية . وللتغلب على التغير فى القدرة أثناء عملية الصهر ، يتم توصيل المكثفات على مراحل ، على أن يكون التوصيل من خلال مقاومة تخميد *(Damping Resistor)* .

وعند فصل المكثفات يتم التفريغ من خلال مقاومة تفريغ *(Discharge Resistor)* فى زمن صغير بقدر الامكان .

ب - فرن الحث بدون قلب للترددات المتوسطة : *Medium Frequency Type*

يستخدم هذا الفرن لانتاج سبائك خاصة ذات عجنات صغيرة عند تردد ٠,٥ - ١٠ كيلو هرتز .

يتكون الفرن من ملف حلزونى الشكل حول بوتقة المعدن ، ويتم التبريد بالماء . عند مرور تيار فى الملف تحدث تيارات اعصارية منتجة بالحث *(Eddy Currents)* بالمادة المراد صهرها .

يكون التردد على حسب نوع الحمل كما فى الجدول الآتى : -

حدود التردد ك . هرتز	نوع الحمل
١ - ٢	الانصهار
٢ - ٥	التسخين
٥ - ١	تسخين السطح

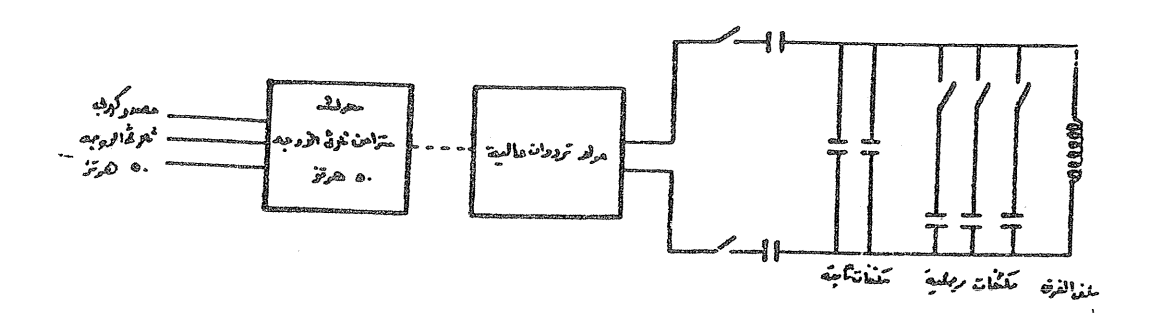
ففى عملية الانصهار يكون معامل القدرة منخفض جدا حوالى ١ر٠ متأخر ، وبالتالى فإن الفرن يحتاج الى مكثفات ثابتة ، وأخرى مرحلية . وقد أمكن انتاج وحدات مكثفات للترددات العالية ، مثال ذلك :

١٢٠٠ كيلو ڤار عند تردد ١ - ٢ كيلو هرتز وجهد ١ - ١,٥ كيلو ڤولت .

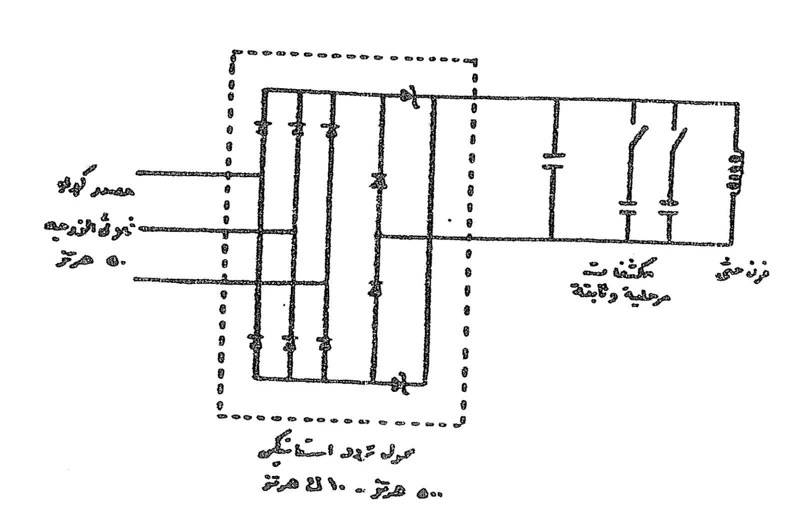
ويمكن الحصول على الترددات العالية بإحدى الطريقتين الآتيتين : -

١ - مجموعة مكونة من محرك متزامن ثلاثى الأوجه ، ومولد ترددات عالية ، كما فى شكل (٤٠ - ٢) .

٢ - محول تردد استاتيكى كما فى شكل (٤١ - ٢) .



شكل (٤٠-٢)



شكل (٤١-٢)

٨ - ٢ تحسين معامل القدرة للمصابيح الفلورسنتية :

بدأ منذ عام ١٩٤٦ استخدام المصابيح الفلورسنت ومصابيح التفريغ *(Fluorescent and Discharge Lighting)* ، التى أخذت تنتشر انتشاراً واسعاً فى مجالات الصناعة والتجارة ، واضاءة الشوارع والطرق العامة . وتتم الاضاءة بمصابيح التفريغ بوساطة الشحنات الكهربية التى تتولد فى الغاز أو فى أبخرة المعادن ، أو بوساطة اشعاع بعض المواد المضيئة . وتعتمد طريقة أداء مصابيح التفريغ والضوء الصادر منها على المتغيرات الآتية :

الضغط الجوى داخل الانبوبة - الجهد الذى يعمل عليه المصباح - نوع الغازات أو الابخرة المستخدمة داخل الانابيب .

من أنواع مصابيح التفريغ : المصابيح الفلورسنت - مصابيح الصوديوم - مصابيح بخارالزئبق ، والمصابيح الزئبقية الفلورسنت .

ويكون معامل القدرة لهذه الانواع من الاضاءة حوالى ٠.٤ (متأخر) ويعتبر تحسين معامل القدرة لهذه الأنواع من الاضاءة أساسياً عند استخدامها . ولتحسين معامل القدرة لها حتى قيمة ٠.٨٥ (متأخر) يتم توصيل مكثف على التوازى سعته حوالى ٣ إلى ٤ ميكروفاراد ، حيث يعتبر من المكونات الاساسية للاضاءة بالمصباح .

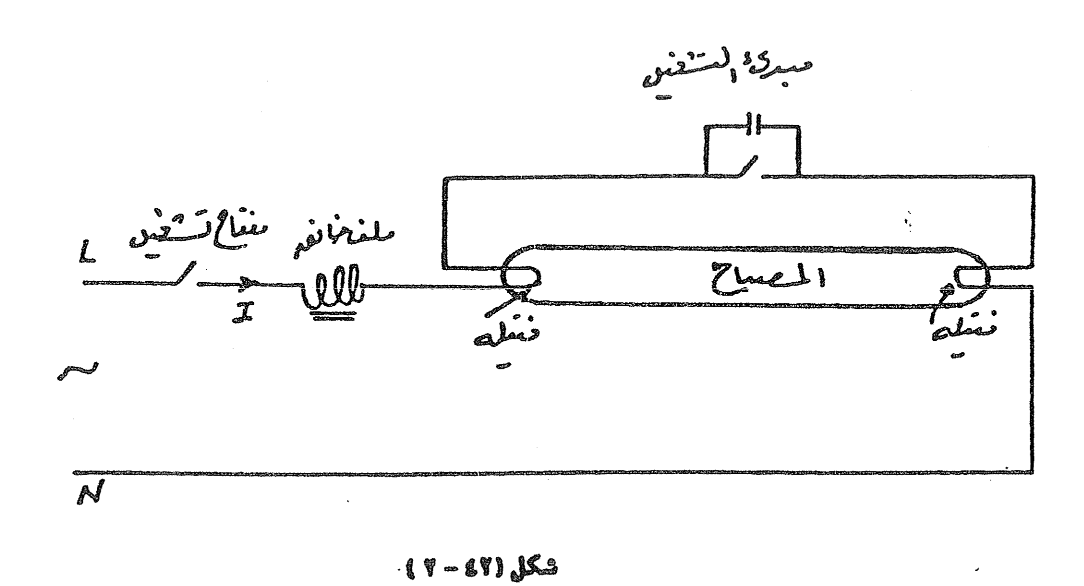
مصباح الفلورسنت *The Fluorescent Lamp*

شكل (٤٢ - ٢) يوضح مكونات مصباح فلورسنت

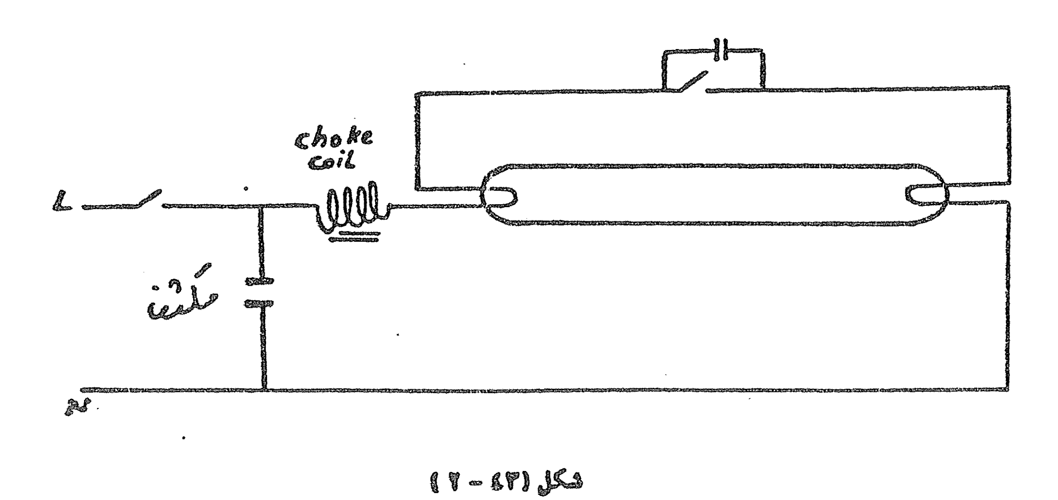
يتكون مصباح الفلورسنت من :

- أنبوبة زجاجية جدرانها الداخلية مغطاة بطلاء ، ومملؤة بغاز أو بخار مخلخل .
- قطبين *(Two Electrodes)* ، ويتكون كل قطب منهما من فتيل من التنجستين مثبت فى أحد طرفى الأنبوبة .
- مبدىء التشغيل *(Starter)*
- ملف تخميد التيار *(Choke Coil or Ballast)* أو ملف خانق .

يتوقف عمل مصباح الفلورسنت على حدوث تفريغ كهربى فى الغاز أو البخار المخلخل ، الموجود فى الانبوبة الزجاجية . عند بداية التشغيل يمر التيار بالفتيل وتكمل الدائرة الكهربائية من خلال مبدىء التشغيل - ينتج عن مرور التيار بالفتيل تأثير حرارى ، يعمل على تسخين



شكل (٤٢ - ٢)



شكل (٤٣ - ٢)

لوحات معدنية موضوعية أمامه ، فتنطلق منها الاليكترونات أو الشحنات الكهربية السالبة ، وتندفع بسرعة فائقة داخل الانبوبة بفعل المجال الكهربائى الموجود بين القطبين . ينشأ عن ذلك تأين الغاز أو البخار الموجود بداخلها مما يؤدى إلى مرور تيار التفريغ داخل الانبوبة ، عندئذ تنتهى الحاجة الى تسخين الفتيلتين فيقطع التيار عن طريق مبدىء التشغيل .

يتكون الملف الخانق من عدد كبير من اللفات ، والتى تكون قيمة حثها الذاتى كبيرة جدا . ويمكن تلخيص فائدة الملف الخانق فيما يلى :

- عند انقطاع تيار التسخين بوساطة مبدىء التشغيل يتولد فى الملف الخانق جهد ذو قيمة عالية تكفى لاستمرار اشعال المصباح ، وحدوث التفريغ الكهربى المطلوب .

- عند حدوث التفريغ المطلوب يقوم الملف الخانق بالحد من قيمة التيار نتيجة لزيادة الحث الذاتى فيه (كلما زاد التيار I المار فيه) . وبذلك يقلل من شدة تيار التفريغ ، كما أنه يعمل على تنظيمه والتحكم فيه .

على الرغم من أهمية الملف الخانق (ملف تخميد التيار) فى دائرة المصباح إلا أنه يتسبب فى إنخفاض معامل القدرة . ولذلك بدأت المصانع فى التنافس على تصنيع مكثفات لتوصيلها مع المصباح ، واعتبارها من المكونات الرئيسية لمصباح الفلورسنت أو مصباح التفريغ ، وذلك لرفع معامل القدرة .

يلاحظ أن المكثف الذى يتم توصيله على التوازى مع مبدىء التشغيل ، يكون الغرض منه منع الشوشرة على أجهزة الراديو وهو يعتبر من مكونات مبدىء التشغيل .

طرق توصيل المكثفات لمصباح الفلورسنت :

هناك ثلاث طرائق لتوصيل المكثفات مع المصباح الفلورسنت ، ولكل طريقة من هذه الطرائق عيوب ومميزات ، علاوة على أنها تختلف فى التكاليف الاقتصادية .

ومن المعروف أن انتاج وتصنيع الأنواع المختلفة للمكثفات قد زاد فى الآونة الأخيرة بحيث يمكن اختيار المناسب منها لكل دائرة .

١ - مكثفات يتم توصيلها على التوازى *Shunt Capacitor Circuit*

يوضح شكل (٤٣ - ٢) توصيل المكثف على التوازى مع المصباح ، والملف الخانق وبذلك يجب أن يتحمل المكثف جهد الينبوع *(Supply)* فقط (٢٢٠ الى ٢٥٠

ڤولت) ، ولايكون من الواجب عليه أن يتحمل أية جهود عابرة ، أو تغيير مفاجىء في الجهد .

ومن مميزات هذا النوع من المكثفات أنه مجهز بمقاومة صغيرة على التوازى ، للسماح بمرور التيار المتداخل ، حيث يتم التخلص من التوافقية الثالثة للتيار .

٢ - مكثفات يتم توصيلها على التوالى *Series Capacitor Circuit*

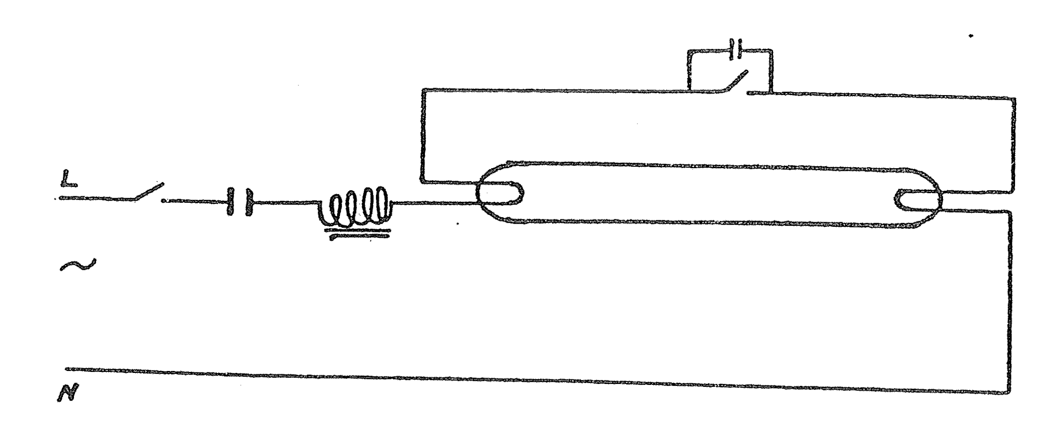
يوضح شكل (٤٤ -٢) وضع المكثف على التوالى عند نهاية الدائرة ، وهو يساعد - عملية التشغيل فى البداية ، ويساعد فى اخماد التيارات المتداخلة - المكثف عبارة عن طبقة رقيقة مطلية بالمعدن *(Metalized Film)* ، وله سعة شرود صغيرة جدا *(Stray Capacitance)* بين الأطراف والجسم ، وبهذا تكون قادرة على إعطاء مستوى منخفض للأخماد .

ومن العلاقة اللازم توافرها بين المكثف والملف الخانق ($X_c = 2 X_L$) يتضح أن جهد المكثف يجب أن يكون تقريبا ضعف جهد الملف الخانق - مثلا لمصدر جهد ٢٣٠ ڤولت، يكون جهد تشغيل المكثف حوالى ٤٠٠ ڤولت - وهى القيمة التى يجب أن يصمم على أساسها المكثف . بالاضافة إلى ذلك فإنه عند مدخل الأطراف تكون الدائرة سعوية ، أى أن معامل القدرة يكون متقدماً .

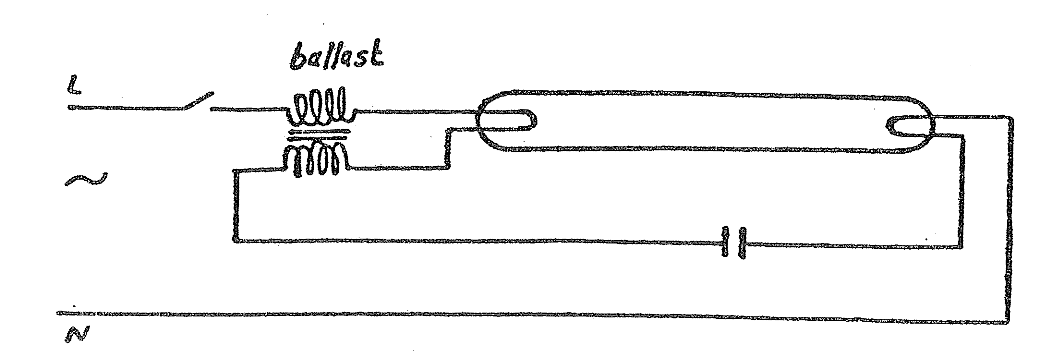
يكون الجهد على المكثف فى البداية كبيراً ، لذلك فإنه فى حالة وجود عيب فى مبدىء التشغيل ممايؤدى إلى سرعة فى إعادة الاشتعال *(Re-striking)* لتيار المصباح ، يحدث إرهاق للمكثف إذا لم تؤخذ أى اجراءات للحد من ذلك . تستخدم هذه الطريقة فى حالة توصيل الانابيب المزدوجة *(Twin Tube Lead / Lag)* لدوائر تقديم / تأخير - وتكون قيمة متوسط معامل القدرة الواحد الصحيح بالتقريب ، فى هذه الحالة .

٣ - دائرة شبه الرنين *Semi -resonant Circut*

يوضح شكل (٤٥ - ٢) طريقة توصيل دائرة شبه الرنين ، بدون مبدىء تشغيل . يوصل أحد طرفى ملفى كابح التيار *(Ballast)* ، فى هذه الحالة على التوالى مع الينبوع ، ويعمل كملف خانق مع اضاءة المصباح يكون الملف الثانى معاكساً للملف الاول ، وتكون قيمة حث لكليهمامتساوية تقريباً -عند التوصيل وقبل اشتعال المصباح يخرج التيار من المكثف ، وبسبب حث التسرب وعدم تساوى قيمتى الحث لكل من



شكل (٤٤ - ٢)



شكل (٤٥ - ٢)

الملفين المتضادين فى الكابح (التساوى بينهما تقريبا) فإن جهداً أكبر من جهد الينبوع يقع على طرفى المصباح ، وبذلك يبدأ المصباح فى الاشتعال . وبعد الاشتعال يكون المكثف عاملا هاما لرفع معامل القدرة ، ومجنبا لبعض التوافقيات - ويكون تصميم المكثف بجهد ٢٥٠ ڤولت .

جدول (١١ -٢) يوضح قدرة المكثفات اللازمة لمصابيح الاضاءة ، فلورسنت ، وبخار الزئبق ، والصوديوم .

جدول (١١ - ٢)

قدرة المكثفات اللازمة لمصابيح الاضاءة

نوع المصباح	قدرة المصباح وات	قدرة المكثف ڤار
فلورسنت	٢٠	٧٠
	٢ × ٢٠	٦٥
	٤٠	٦٥
	٦٥	١١٠
	٨٥	٢٠٠
	١٠٠	٢٨٥
بخار الزئبق	٥٠	١٠٥
	٨٠	١٢٥
	١٢٥	١٥٥
	٢٥٠	٢٨٠
	٤٠٠	٣٨٥
	١٠٠٠	٩٢٠
الصوديوم	٤٥	٣٥٠
	٦٠	٣٥٥
	٨٥	٣٦٠
	١٤٠	٣٨٠

٨ - ٩ المكثفات المتزامنة أو المعدل المرحلى المتزامن

Synchronouse Condenser Or Synchronouse Phase Modifiers

عندما نقوم بتحسين معامل القدرة من خلال مكثفات استاتيكية فيمكننا الحصول على قيم مختلفة لمعامل القدرة بإضافة مكثفات فى الدائرة الكهربائية . ولسهولة التحكم فى معامل القدرة تستخدم المكثفات المتزامنة .

يعرف المكثف المتزامن بانه محرك متزامن يعمل عند اللاحمل حيث يأخذ من الينبوع قدرة حثية (لمعامل قدرة متأخر) عند قيمة أقل من قيمة محددة لتيار المجال ، أو يأخذ من الينبوع قدرة سعوية (بمعامل قدرة متقدم) ، عند قيمة أكبر من قيمة محددة لتيار المجال ، وهى الحالة التى يقال إنه يعمل فيها بتنبيه زائد *(Over Excited)* ، لكى يسحب تياراً سعوياً من الينبوع .

شكل (٤٦ - ٢) يوضح منحنيات (V) لمحرك متزامن عند أحمال مختلفة ، عند تيار مجال أقل من I_{f1} يأخذ المحرك من الينبوع قدرة حثية ، وعند تيار مجال اكبر من I_{f1} يأخذ المحرك من الينبوع قدرة سعوية .

ومن مميزات المكثفات المتزامنة :

١ - يمكن التحكم بسهولة فى القدرة غير الفعالة بالتحكم فى تغيير تيار التنبيه .

٢ - يمكن الحصول على تشغيل مستقر باستخدام مكبرات دوراة ، ومنظمات عالية السرعة ، حتى عند حدوث تغيرات مفاجئة فى حالة المنظومة .

٣ - لاتوجد توافقيات *(Harmonics)* فى موجات الجهد ، أما المكثفات الاستاتيكية فانها تعطى توافقيات كبيرة فى المنظومة .

من عيوب المكثفات المتزامنة :

١ - باهظة التكاليف .

٢ - تحتاج إلى صيانة دائمة ، لاحتوائها على أجزاء متحركة .

٣ - ارتفاع قيمة تيار القصر ، عند حدوث قصر قريب من مكان تركيب المكثفات المتزامنة .

٤ - إذا وصل المكثف المتزامن لحالة " فوق تزامنية " يتسبب فى قطع مصدر التغذية .

٥ - كفاءة منخفضة نتيجة الفقد فى الأجزاء المتحركة ومفاقيد الملفات والاحتكاك .

التركيب :

يتكون المكثف المتزامن الحديث ، من محـرك متزامن له ستة أو ثمانية أقطاب بارزة *(Salient Pole)* ، ومزود بمخمدات ملفات يمكن بواسطتها ادارته كما لو كان محركا حثياً عند جهود منخفضة . ويكون تيار البدء من الينبوع أقل من التيار المقنن ، وذلك بسبب أن نقط التغيير للبدء فى محول بدء التشغيل حوالى ٢٥ - ٤٠٪ من الجهد المقنن . لو تم رفع العامود بضغط الزيت فانه سيقلل العزم الابتدائى ، كما أن أقل جهد مطلوب لتحقيق بدء التشغيل سيقل . وتدور الآلة غالبا قرب السرعة المتزامنة عند جهد منخفض ، ثم تتحول بعد ذلك الى سرعة التزامن .

التشغيل :

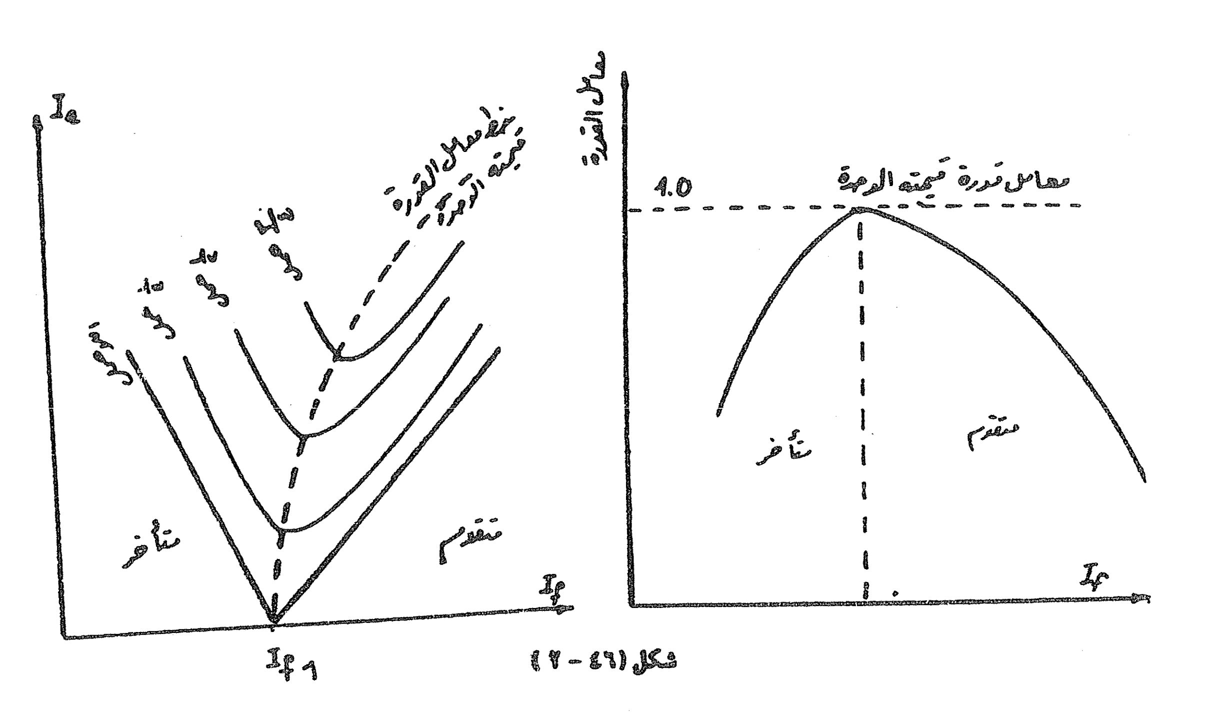
فى الشكل (٤٧ - ٢) رسم خطى لمكثف متزامن متصل بمحول بدء تشغيل .

يتم تغذية المكثف المتزامن بجهد تشغيل مبدئى من محول بدء التشغيل عن طريق توصيل مفتاح تحييد . يتم تحديد قيمة تيار قصر الآلة تبعا لاختيار نسبة تحويل محول بدء التشغيل . عند وصول سرعة الآلة الى قرب سرعة التزامن ، تحدث عملية دخول الآلة فى حالة التزامن *(Pulled into Synchronism)* ، حيث يفتح مفتاح التحييد ، ويقفل مفتاح قصر المحول ، وتصبح الآلة موصلة على الينبوع عن طريق مفتاح قصر المحول ، أما قبل ذلك فيكون الاتصال بين المكثف المتزامن والشبكة عن طريق ملفات محول البدء الذى يعمل عمل ملف ممانع *(Reactor)* .

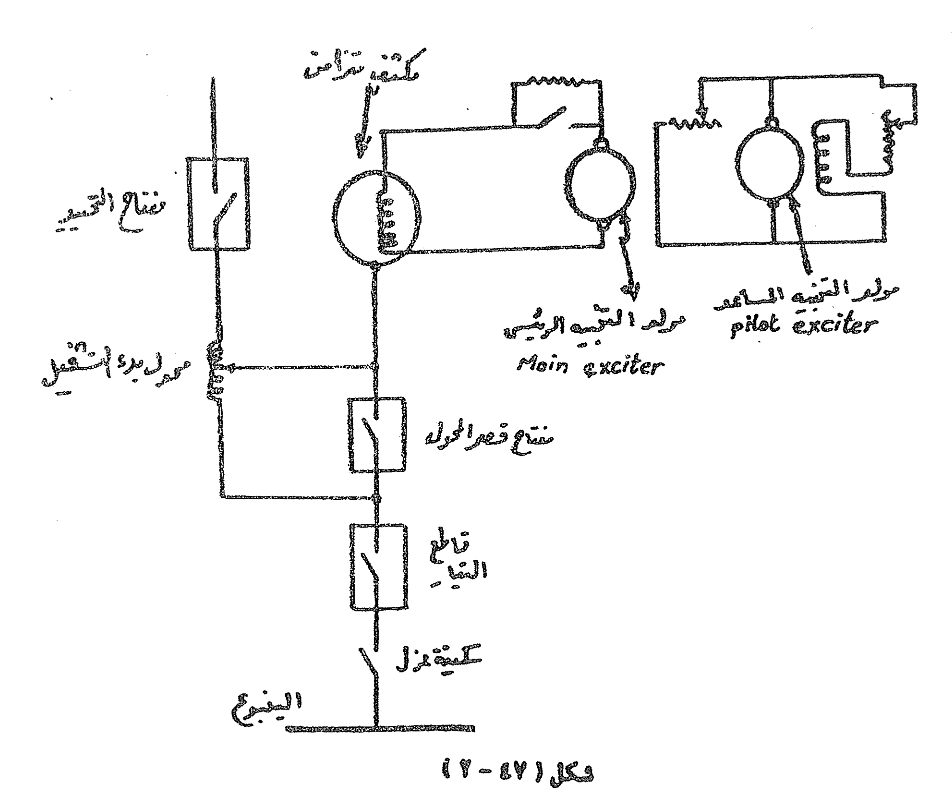
تتم جميع العمليات آليا بوسائل بسيطة ، أو باستخدام مايعرف بالدوائر المترابطة *(Interlocked Circuits)* ، وذلك للتغلب على أى تشغيل خاطىء للمفاتيح . يوصل المكثف المتزامن فى مركز ثقل الحمل ، أى فى منطقة الحمل ، كما فى شكل (٤٨ - ٢) ، تبرد المكثفات المتزامنة بالهواء أو الهيدروجين .

شكل (٤٩ - ٢) يوضح مكثف متزامن يبرد بالهيدروجين ذى قدرة ١٢٥ م. ف. أ / ٢٢كيلو ڤولت .

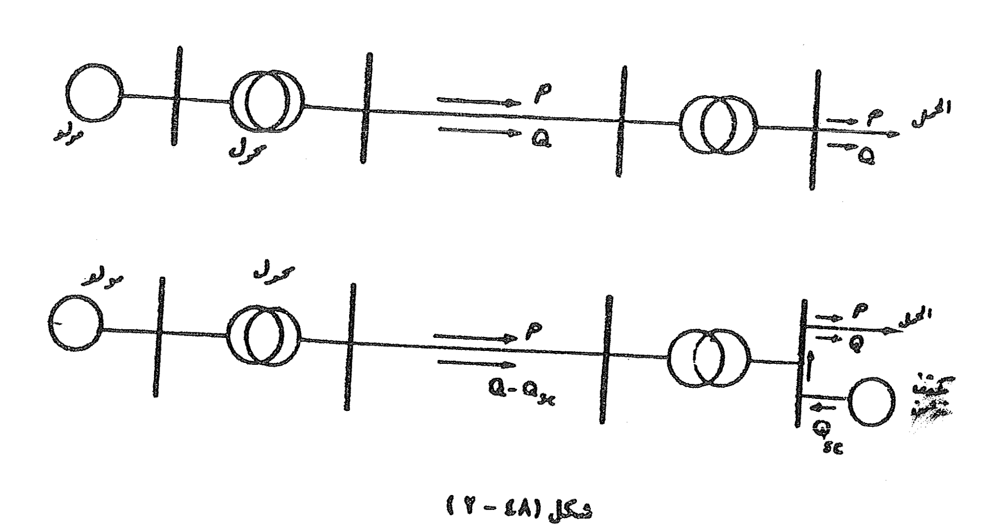
شكل (٥٠ -٢) يوضح مكثف متزامن يبرد بالهواء ذى قدرة ٣٤٥ م .ف. أ / ١٨ كيلو ڤولت . تكون حماية المكثفات المتزامنة ضد جميع أنواع القصر كما فى حالة المولدات حيث يتم تركيب أجهزة حماية ضد زيادة التيار *(Over Current Protection)* وحماية فرقية *(Difrential Protechion)* وحماية ضد التسرب الأرضى *(Earth Leakage Protection)* لملفات العضو الدائر والثابت .



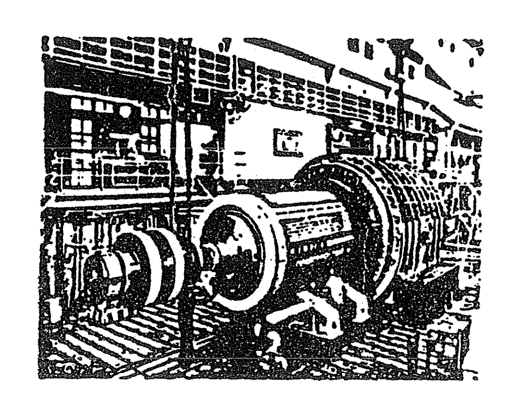
شكل (٤٦ - ١٢)



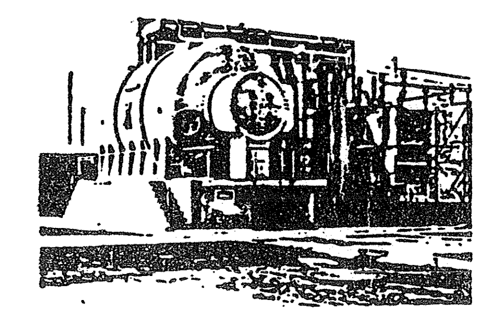
شكل (٤٧ - ١٢)



شكل (٤٨ - ٢)



شكل (٥٠ - ٢)



شكل (٤٩ - ٢)

الباب الثالث

الباب الثالث

الأجهزة المساعدة مع المكثفات

١ - ٣ مهمات الفصل والتوصيل وملحقاتها (Switchgears)

تجهز مجموعات المكثفات سواء كانت ثابتة القيمة ، أو ذات مراحل متعددة ، بالمعدات الآتية :

- مفاتيح التلامس وقواطع الدائرة لعمليات الفصل والتوصيل

Contactors and Circuit Breakers

- مصهرات سريعة الاداء ذات سعة الفصل كبيرة . *High Rupturing Fuses (HRC)*
- أجهزة تحكم آلى لتشغيل المفاتيح .
- كابلات قدرة .

يحدث ارتفاع فى الجهد فى الشبكة الكهربائية ، نتيجة انخفاض الاحمال ذات القدرة غير الفعالة عليها ، وعند وجود مكثفات لتحسين معامل القدرة ترتفع قيمة التيار السعوى لهذه المكثفات لفترات متقطعة ، بسبب ارتفاع الجهد عليها .

وطبقاً للمواصفات القياسية العالمية فإنه يجب مراعاة مايأتى :

- يكون أقل تيار مقنن للمفاتيح الهوائية مساوياً ١٫٢٥ من التيار المقنن لمجموعة المكثفات .
- يكون أقل تيار مقنن للمصهرات ذات السعة الكبيرة (HRC) مساويا ١٫٥من التيار المقنن لمجموعة المكثفات .
- يكون أقل تيار مقنن للمفاتيح من النوع المغلق (Enclosed) مساوياً ١٫٥ من التيار المقنن لمجموعة المكثفات .

يتم التحكم فى مكثفات الجهد المنخفض أعلى من ٤٠ كيلو ڤار آليا عن طريق توصيل أو فصل مفاتيح هوائية ثلاثية الاوجه من خلال جهاز تحكم .

جدول (١ - ٣) يوضح التيار المقنن ، سعة القطع ، لقواطع مصهرية ، وقواطع هوائية ، تستخدم مع مكثفات ذات قدرات مختلفة جهد ٣٨٠ ڤولت - ٥٠ هرتز .

جدول (٢ - ٣) يوضح التيار المقنن لسكينة مصهرات تأمين ، وقواطع هوائية ، تستخدم مع مكثفات ذات قدرات مختلفة جهد ٢٤٠ ڤولت - ٥٠ هرتز .

جدول (٣ - ٣) يوضح التيار المقنن لسكينة مصهرات تأمين ، وقواطع هوائية ، تستخدم مع مكثفات ذات قدرات مختلفة جهد ٤٨٠ ڤولت - ٥٠ هرتز .

جدول (٤ - ٣) يوضح التيار المقنن لسكينة مصهرات تأمين وقواطع هوائية تستخدم مع مكثفات ذات قدرات مختلفة جهد ٦٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز .

يتم توصيل مصهرات ذات سعة القطع كبيرة *(HRC)* مع المكثفات ، لحمايتها ضد أنواع القصر المختلفة .

جدول (٥ - ٣) يوضح سعة المصهرات اللازمة لتركيبها مع مكثفات جهد ٤٠٠ ڤولت ذات قدرات مختلفة طبقاً للمواصفات القياسية *(VDE 0110)*

شكل (١ - ٣) يوضح بعض أنواع المصهرات انتاج وستنجهاوس تستخدم لدوائر المكثفات ذات جهود مختلفة ، عند تصميم الدوائر الكهربائية للوحات المكثفات يجب تحديد مواصفات الكابلات اللازمة والتى تعتمد على قدرة وجهد المكثفات . فى حالة استخدام لوحات مكثفات ذات مراحل يجب مراعاة أن تكون الكابلات من مكثفات المرحلة وحتى المصهرات تختلف عن مقطع الكابلات من المصهرات وحتى القضبان .

شكل (٢ - ٣) يوضح مساحة مقطع كابلات لوحدة مكثفات ثابتة القيمة ١٢,٥ ك . ڤار .

شكل (٣ - ٣) يوضح مثلا لمرحلتين من المكثفات ، بقدرة كلية ٥٠ ك . ڤار ، كل مرحلة ٢ x ١٢,٥ ك . ڤار . يلاحظ أن مساحة مقطع الكابلات من الوحدة ١٢,٥ ك . ڤار وحتى تضاف إليها الثانية ١٢,٥ ك . ڤار ٦ مم ٢ نحاس ، بينما مساحة مقطع الكابلات بعد نقطة التجميع وحتى المصهرات ١٠ مم ٢ نحاس - أما مساحة مقطع الكابلات بعد المصهرات وحتى القضبان فهى ٢٥ مم٢ نحاس .

جدول (٦ - ٣) ، (٧ - ٣) ، (٨ - ٣) توضح مساحة مقاطع الكابلات لقدرات المكثفات المختلفة للجهد المنخفض .

جدول (٩ - ٣) يوضح مثال لمواصفات الكابلات وسعة المصهرات اللازمة لمكثفات الجهد المنخفض ٤٠٠ ڤولت طبقا لمواصفات شركة نوكيا العالمية ، وذلك فى حالة استخدام

وحدات ثابتة .

جدول (١٠ - ٣) يوضح مواصفات شركة نوكيا العالمية فى حالة استخدام مكثفات ذات مراحل آلية .

فى حالة استخدام مكثفات جهد متوسط ١١ك .ف - ١٥ك .ف فإن مساحة مقطع الكابلات تختلف على حسب قدرة المكثف .

جدول (١١ - ٣) يوضح مقاطع الكابلات المستخدمة مع مكثفات الجهد المتوسط لكابلات ثلاثية الاوجه الومنيوم أو نحاس .

تستخدم قواطع التيار للجهد المتوسط لفصل التيارات العادية المقننة ، وتيارات القصر ، ومن الانواع شائعة الاستخدام :

- قاطع هوائى *(Air Circuit Breaker)*
- قاطع ذو غاز سادسى فلوريد الكبريت *(SF6 Circuit Breaker)*
- قاطع زيتى *(Oil Circuit Breaker)*
- قاطع مفرغ *(Vacuum Contactor)*

عند اختيار القاطع يلزم تحديد مواصفات القاطع من هذه القيم :

١ - التيار المقنن العادى *(Rated Normal Current)* ، الذى يجب أن يكون ١,٥ مرة من قيمة التيار المقنن لمجموعة المكثفات

٢ - التيار الاندفاعى عند إجراء التوصيل *(Rated Capacitor Inrush Making Current)* يعرف بإنه القيمة العظمى للتيار الاندفاعى اللحظى عند الجهد المقنن والتردد المقنن - تحدد المواصفات القياسية العالمية *(IEC 50 -7)* بعض الارشادات فيما يخص اختيار القاطع ، فى حالة استخدامه مع مجموعة مكثفات ، بحيث لايزيد قيمة هذا التيار عن ١٠٠ مرة من التيار المقنن لهذه المجموعة من المكثفات . وفى كثير من الحالات يتم استخدام ممانعة *(Reactor)* توصل على التوالى مع كل مرحلة ، أو مع المجموعة كلها ، لتقليل قيمة التيار الاندفاعى .

٣ - تيار القطع السعوى *Capactive-Current Breaking Capacity*

عند فصل التيار السعوى لمجموعة المكثفات ينتج عنه مشاكل تتعلق بالعزل لقواطع التيار . يجب أن يتحمل القاطع حدوث تكرار الاشتعال *(Restrike Free Switching)* ، ويصمم القاطع على أساس تيار سعوى بحيث لايحدث تعدى للجهود الزائدة القصوى المسموح بها عند فصله ، وكما أن اعادة الاشتعال قد يؤدى الى تيار اندفاعى كبير ، يمكن أن يؤثر فى مقدرة القاطع للفصل ، وبالتالى تعدى عن قيمة الجهود الزائدة .

جدول (١٢ - ٣) يوضح قيمة قدرة المكثفات عند الجهود العالية فى حالة استخدام قاطع زيتى أو قاطع مفرغ .

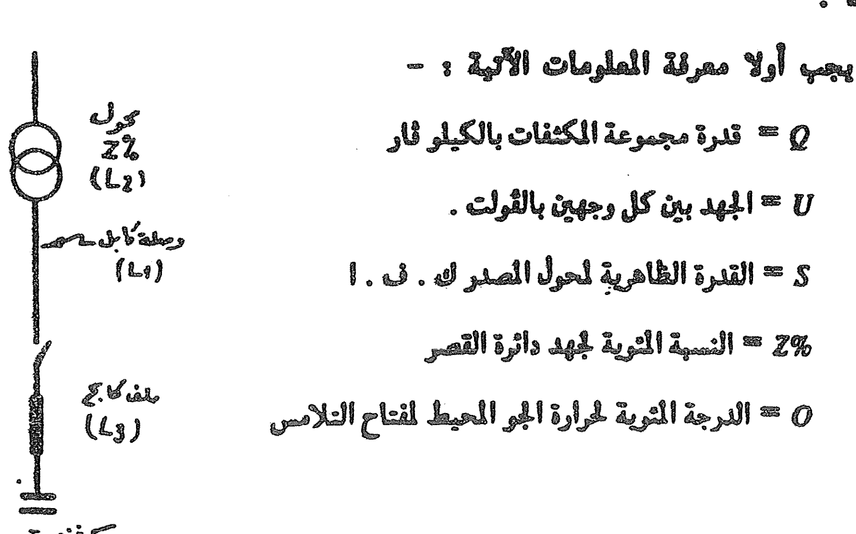
شكل (٤ - ٣) يوضح قاطع تيار زيتى أحادى الوجه انتاج وستنجهاوس يستخدم للجهد المتوسط .

شكل (٥ - ٣) يمثل مجموعة مكثفات متصلة نجمة ، مع عدد ٣ قاطع تيار أحادى الوجه مثبتة على حامل (جهد ١٩,٩ - ٣٤,٥ ك . ف ، إنتاج وستنجهاوس) .

شكل (٦ - ٣) يمثل مجموعة متصلة نجمة ، كل وجه يتكون من مكثفين على التوازى مع عدد ٣ قاطع تيار زيتى أحادى الوجه مثبتة على حامل (جهد ١٩,٩ - ٣٤,٥ ك . ف ، إنتاج وستنجهاوس) .

اختيار مفتاح تلامس *(Contactor)* لتوصيل مجموعة مكثفات ثابتة - ثلاثية الاوجه .

يجب أولا معرفة المعلومات الآتية : -



Q = قدرة مجموعة المكثفات بالكيلو ڤار

U = الجهد بين كل وجهين بالڤولت .

S = القدرة الظاهرية لمحول المصدر ك . ف . ا

$Z\%$ = النسبة المئوية لجهد دائرة القصر

O = الدرجة المئوية لحرارة الجو المحيط لمفتاح التلامس

نتبع الخطوات التالية لاختيار مفتاح التلامس :

١ - احسب تيار الخط I_1 باستخدام المعادلة

$$I_1 = \frac{Q}{U\sqrt{3}} \quad Amp$$

٢- استخدم معامل أمان (قياس) لأخذ تأثير التوافقيات فى الاعتبار ، هنا يعطى تيار مفتاح التلامس (I_e) .

$$I_e = I_1 \times 1.43$$

(طبقا للمواصفات القياسية العالمية VDE s 60 , IEC 70)

٣ - نختار مفتاح تلامس له I_{th} (Thermal or Rated Current) ، عند درجة الحروه $0\,^{\circ}c$ يساوى أو أكبر مباشرة من I_e (المفتاح التلامس).

٤- بعد اختيار القيمة المقننة (Rating) ، نتعرف على قيمة التيار التى تم تصنيع مفتاح التلامس على أساسها (Making or Breaking Capacity) - من كتالوجات الشركة المصنعة - ثم تحسب القيمة القصوى للتيار I_{peak} والتى تحدث عند توصيل المكثف .

$$I\,peak = \frac{\text{القيمة المقننة المعطاه فى الكتالوج بالامبير} \times K}{1000} \quad KA$$

بعض الشركات المصنعة تعطى قيمة I_{peak} مباشرة ، وبعض الشركات تستخدم العلاقة السابقة ، ويعطى قيمة المعامل K ، والذى يختلف من شركة الى أخرى .

٥- نوجد معامل الحث (Inductance) الكلى ، لكل وجه للحد من القيمة القصوى للتيار ، والتى تنشأ عند التوصيل .

$$L_T = \frac{Q}{0.5\, I_{peak}^2}$$

Q بالكيلو ڤار ، I_{peak} بالكيلو أمبير ، L_T بالميكروهنرى .

حيث يتكون معامل الحث الكلى من

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

ومن ثم يكون معامل حث اللف الكابح

$$L_3 = LT - (L_1 + L_2)$$

اختيار مفتاح تلامس (Contactor) لتوصيل مجموعة مكثفات ذات مراحل

إذا كانت جميع المراحل متماثلة ، فإن مفاتيح التلامس سوف يكون لها جميعا نفس مقنن القدرة ، وتتبع نفس الخطوات المتبعة فى حالة مجموعة مكثفات ثابتة (الخطوات من ١ الى ٤).

يفضل عند تحديد القيمة القصوى للتيار I_{peak} للمرحلة الاولى ، أن تأخذ القيمة الكلية لعامل الحث L_T فى الاعتبار ، لمنع حدوث التصاق أطراف مفتاح التلامس ، لأنه عندما يتم توصيل المفتاح ، وفى خلال فترة زمنية أولية تقدر بالميكروثانية ، فإن المكثف غير المشحون غالبا مايكون مكافئاً لدائرة قصر شديدة .

وتحدد قيمة معامل الحث الكلى من المعادلة

$$L_T = \frac{Q}{0.5\, I_{peak}^2\, n} \quad \mu H$$

حيث Q_T القدرة الكلية بالكيلو فار ، n عدد المراحل .

للمراحل التالية يجب أن تحدد قيمة معامل حث الملف الكابح من العلاقة

$$L_n = \frac{665 \times Q_T \times \left(\frac{n-1}{n}\right)^2}{w \times n \times I_{peak}^2}$$

حيث

L_n معامل حث الملف الكابح بالميكروهنرى .

w التردد الزاوى .

The Westinghouse Type CLN Current Limiting Fuse.
600 V

مصهر ٦٠٠ فولت ذو حد معين للتيار

The Westinghouse Type CLC Current Limiting Fuse.
1200 V - 4.3/2.5 kV

مصهر ١٢٠٠ فولت
٤,٣ – ٢,٥ ك. ف
ذو حد معين للتيار

The Westinghouse Type COL Fuse.
2.8 to 23 kV

مصهر ٢,٨ – ٢٣ ك. ف

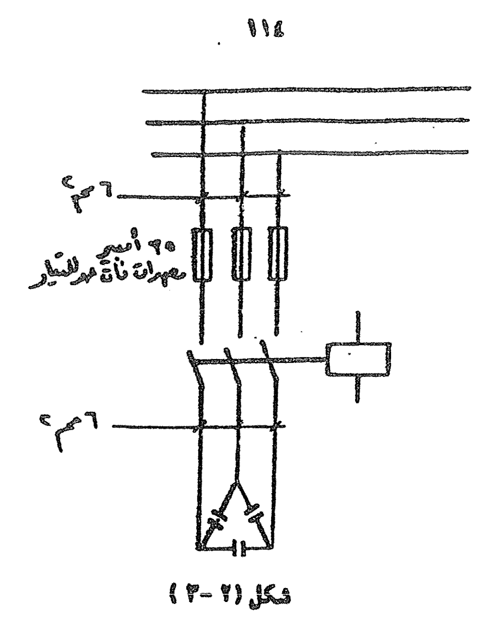
The Westinghouse Type CXP High Voltage Expulsion Type Capacitor Fuse.
8.0, 15.0, 20.0, 25.0 kV

مصهر ٨ ، ١٥ ، ٢٠ ، ٢٥ ك. ف

The Westinghouse Type CIL Fuse.
5.5-15.5 kV Indoor

مصهر ٥,٥ – ١٥,٥ ك. ف

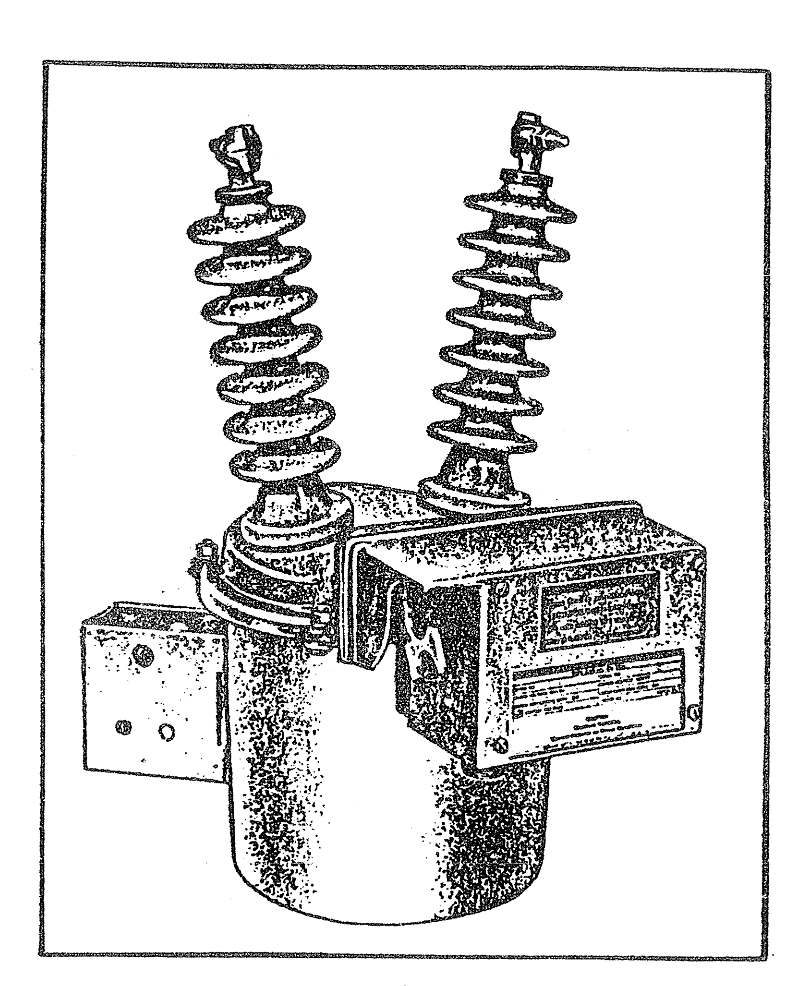
شكل (١ - ١٢)



شكل (٢-٣)

F1 مصهرات ١٠٠ أمبير
٢٥ مم٢
١٠ مم٢
K1
K2
مفتاح تلامس
R1
R2
مقاومة تفريغ
١٠ مم٢
٦ مم٢
مكثفات
C1 C2 C3 C4

شكل (٣-١٢)



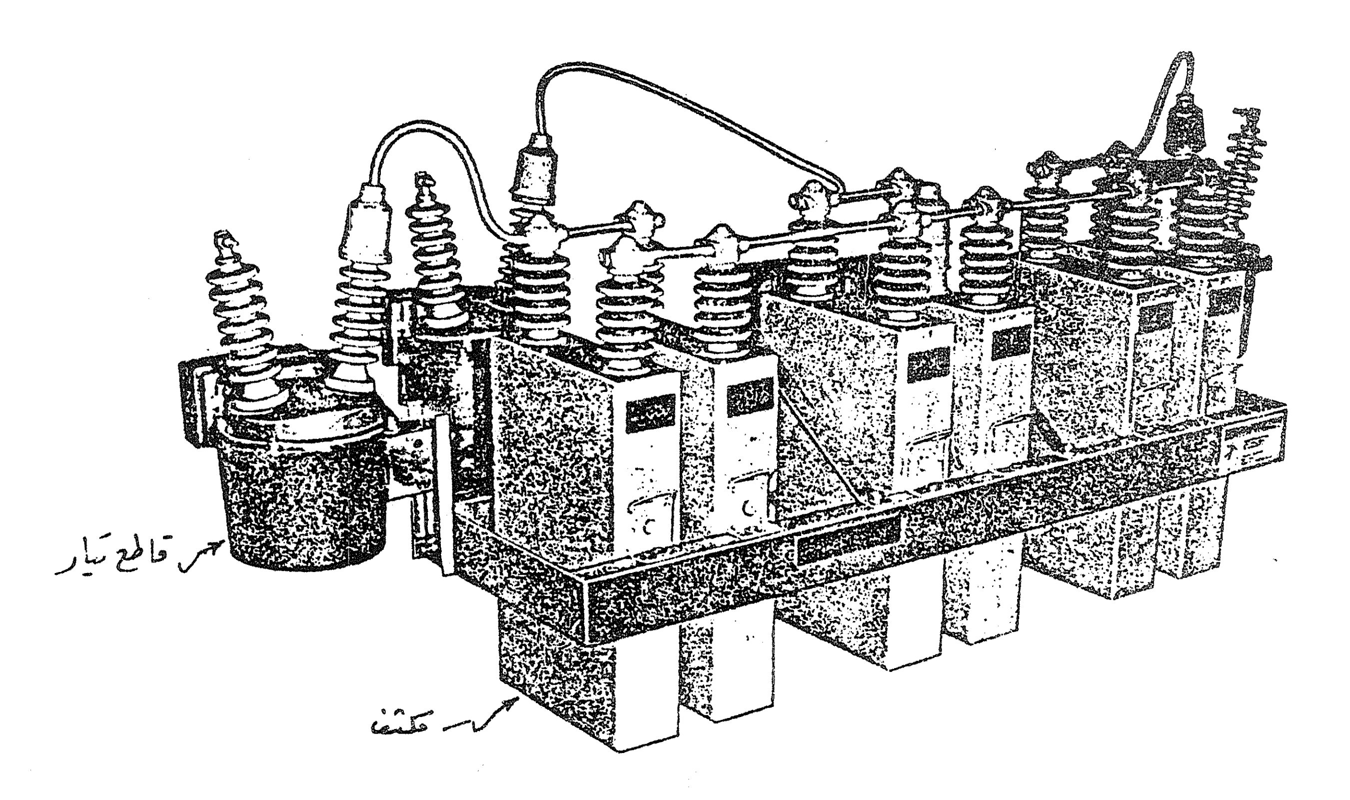
شكل (٤-٣)

قاطع تيار زيتي احادي الوجه
- ١٥ ك . ف - ٢٠٠ أمبير
- ٢٠ ك . ف - ٦٠٠ أمبير
انتاج وستنجهاوس

شكل (٥-٣)

مجموعة مكثفات متصلة Y مع عدد ٣ قاطع زيتي احادي الوجه مثبته على حامل (جهد ٩.١٩ - ٥.٣٤ ك.ف.)

انتاج وستنجهاوس



شكل (٦ - ٣)

مجموعة مكثفات متصلة Y كل وجه مكون من مكثفين على التوازى مع عدد ٣ قاطع تيار زيتى مثبت على حامل (جهد ١٩,٩ - ٥, ٢٤ ك. ف) انتاج وستنجهاوس

جدول (١ - ٣)

قواطع مصبوبة *Moulded Circuit Breaker* وقواطع هوائية *Air Circuit Breaker* مستخدمة مع مكثفات ذات قدرات مختلفة - ٣٨٠ ڤولت - ٥٠ هرتز

قدرة المكثف		التيار المقنن للقاطع أمبير	سعة القطع للقاطع ك . أمبير	
ك . ڤار	أمبير			
٤٦	٧٠	١٠٠	٢٥	قواطع مصبوبة
٥٧	٨٧	١٢٥	٢٥	
٧٤	١١٢	١٦٠	٢٥	
١١٥	١٧٥	٢٥٠	٣٥	
١٨٤	٢٨٠	٤٠٠	٣٥	
٢٩٠	٤٤١	٦٣٠	٣٥	
٣٦٨	٥٦٠	٨٠٠	٤٠	
٥٧٦	٨٧٥	١٢٥٠	٥٠	
٣٦٨	٥٦٠	٨٠٠	٤٥	قواطع هوائية
٥٧٦	٨٧٥	١٢٥٠	٤٥ - ٥٥	
٧٣٧	١١٢٠	١٦٠٠	٤٥ - ٥٥	
٩٢٠	١٤٠٠	٢٠٠٠	٥٥	

جدول (٢ - ٣)

التيار المقنن لسكينة مصهرات تأمين وقاطع هوائى لمكثفات عند جهد ٢٤٠ ڤولت - وستنجهاوس .

المكثفات		مكينة مصهرات تامين التيار المقنن - أمبير	قاطع هوائى التيار المقنن -أمبير
ك . ڤار	أمبير		
٢,٥	٦	١٥	١٥
٥	١٢	٢٠	٢٠
٧,٥	١٨	٣٠	٣٠
١٠	٢٤	٤٠	٤٠
١٥	٣٦	٦٠	٥٠
٢٠	٤٨	٨٠	٧٠
٢٥	٦٠	١٠٠	٩٠
٣٠	٧٢	١٢٥	١٠٠
٤٥	١٠٨	٢٠٠	١٥٠
٥٠	١٢٠	٢٠٠	١٧٥
٦٠	١٤٤	٢٥٠	٢٠٠
٧٥	١٨٠	٣٠٠	٢٥٠
٩٠	٢١٧	٤٠٠	٣٠٠
١٠٠	٢٤٠	٤٠٠	٣٥٠
١٢٠	٢٨٩	٥٠٠	٤٠٠
١٢٥	٣٠١	٥٠٠	٤٥٠
١٣٥	٣٢٥	٦٠٠	٥٠٠
١٥٠	٣٦١	٦٠٠	٥٠٠
١٨٠	٤٣٣	٨٠٠	٦٠٠
٢٠٠	٤٨٠	٨٠٠	٧٠٠
٢٢٥	٥٤١	٩٠٠	٨٠٠
٢٤٠	٥٧٨	١٠٠٠	٨٠٠
٢٥٠	٦٠٢	١٠٠٠	٩٠٠
٢٧٠	٦٥٠	١٢٠٠	١٠٠٠
٣٠٠	٧٢٠	١٢٠٠	١٢٠٠
٣٦٠	٨٦٦	١٦٠٠	١٢٠٠
٣٧٥	٩٠٢	١٦٠٠	١٢٠٠

جدول (٣ - ٣)

التيار المقنن لسكينة مصهرات تأمين وقاطع هوائي لمكثفات جهد ٤٨٠ ڤولت وستنجهاوس.

قدرة المكثفات		سكينة مصهرات تأمين التيار المقنن - أمبير	قاطع هوائي التيار المقنن -أمبير
ك . ڤار	أمبير		
٢	٢.٤	١٥	١٥
٥	٦	١٥	١٥
٧.٥	٩	١٥	١٥
١٠	١٢	٢٠	٢٠
١٥	١٨	٣٠	٣٠
٢٠	٢٤	٤٠	٤٠
٢٥	٣٠	٥٠	٥٠
٣٠	٣٦	٦٠	٥٠
٣٥	٤٢	٧٠	٦٠
٤٠	٤٨	٨٠	٧٠
٤٥	٥٤	٩٠	٨٠
٥٠	٦٠	١٠٠	٩٠
٦٠	٧٢	١٢٥	١٠٠
٧٥	٩٠	١٥٠	١٢٥
٨٠	٩٦	١٧٥	١٥٠
٩٠	١٠٨	٢٠٠	١٥٠
١٠٠	١٢٠	٢٠٠	١٧٥
١٢٠	١٤٤	٢٥٠	٢٠٠
١٢٥	١٥٠	٢٥٠	٢٠٠
١٥٠	١٨٠	٣٠٠	٢٥٠
١٦٠	١٩٢	٣٥٠	٣٠٠
١٨٠	٢١٦	٤٠٠	٣٠٠
٢٠٠	٢٤١	٤٠٠	٣٥٠
٢٢٥	٢٧١	٥٠٠	٤٠٠
٢٤٠	٢٨٩	٥٠٠	٤٠٠
٢٥٠	٣٠١	٥٠٠	٤٠٠
٣٠٠	٣٦١	٦٠٠	٥٠٠
٣٢٠	٣٨٥	٧٠٠	٦٠٠
٣٦٠	٤٣٣	٨٠٠	٦٠٠
٣٧٥	٤٥١	٨٠٠	٦٠٠
٤٠٠	٤٨١	٨٠٠	٨٠٠
٤٥٠	٥٤١	٩٠٠	٨٠٠

جدول (٤ - ٣)

التيار المقنن لسكينة مصهرات تأمين وقاطع هوائى لمكثفات جهد ٦٠٠ فولت وستنجهاوس

قدرة المكثفات		سكينة مصهرات تأمين التيار المقنن - أمبير	قاطع هوائى التيار المقنن -أمبير
ك . فار	أمبير		
٥	٤,٨	١٥	١٥
٧,٥	٧,٢	١٥	١٥
١٠	٩,٦	٢٠	١٥
١٥	١٤,٤	٢٥	٢٠
٢٠	١٩,٢	٣٥	٣٠
٢٥	٢٤,١	٤٠	٤٠
٣٠	٢٨,٩	٥٠	٤٠
٣٥	٣٣,٦	٦٠	٥٠
٤٠	٣٨,٥	٧٠	٧٠
٤٥	٤٣,٣	٧٠	٧٠
٥٠	٤٨,١	٨٠	٧٠
٦٠	٥٧,٨	١٠٠	٩٠
٧٥	٧٢,٢	١٢٥	١٠٠
٨٠	٧٧	١٥٠	١٢٥
١٠٠	٩٦,٢	١٧٥	١٥٠
١٢٠	١١٥	٢٠٠	١٧٥
١٢٥	١٢٠	٢٠٠	١٧٥
١٥٠	١٤٤	٢٥٠	٢٠٠
١٦٠	١٥٤	٣٠٠	٢٢٥
١٨٠	١٧٣	٣٠٠	٢٥٠
٢٠٠	١٩٢	٣٥٠	٣٠٠
٢٢٥	٢١٧	٤٠٠	٣٠٠
٢٤٠	٢٣١	٤٠٠	٣٥٠
٢٥٠	٢٤١	٤٠٠	٣٥٠
٣٠٠	٢٨٩	٥٠٠	٤٠٠
٣٢٠	٣٠٦	٦٠٠	٥٠٠
٣٦٠	٣٤٧	٦٠٠	٥٠٠
٣٧٥	٣٦١	٦٠٠	٥٠٠
٤٠٠	٣٨٥	٧٠٠	٦٠٠
٤٥٠	٤٣٣	٨٠٠	٦٠٠

جدول (٥ - ٣)

سعة المصهرات لمكثفات ٤٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز

طبقاً للمواصفات القياسية (VDE 0100)

قدرة المكثفات		سعة المصهر (تأخير زمنى) أمبير
ك . ڤار	أمبير	
٢,٥	٣,٦١	١٠
٥	٧,٢٢	١٦
٧,٥	١٠,٨٤	٢٠
١٠	١٤,٤٥	٢٥
١٢,٥	١٨,١	٣٦
١٥-٢٥	٢١,٦٨ - ٢٨,٩	٥٠
٢٥-٣٥	٣٦,١٣ - ٤٣,٣٥	٦٣
٣٥-٤٠	٥٠,٥٨ - ٥٧,٨	٨٠
٥٠	٧٢,٢٥	١٠٠
٦٠	٨٦,٧	١٢٥
٧٥	١٠٨,٣٨	١٦٠
٩٠-١٠٠	١٣٠,١ - ١٤٤,٥	٢٠٠
١٢٠-١٢٥	١٧٣,٤ - ١٨٠,٦٤	٢٥٠
١٥٠	٢١٦,٧٦	٣١٥
١٧٥-٢٠٠	٢٥٢,٩ - ٢٨٩	٢ × ٢٠٠
٢١٠-٢٥٠	٣٠٣,٤٧ - ٣٦١,٢٨	٢ × ٢٥٠
٢٦٠-٣٠٠	٢٧٥,٧٢ - ٤٣٣,٥٣	٢ × ٣١٥

جدول (٦ - ٣)

مقاطع الكابلات اللازمة لمكثفات ٤٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز

طبقاً للمواصفات القياسية *(VDE 01001, Part 430 / 6.81)* مساحة المقطع عند ٣٠° م

المقنن للمكثف		مساحة مقطع كابلات التوصيل - نحاس - مم ٢
ك . ڤار	أمبير	
٢,٥	٣,٦١	١,٥ × ٤
٥	٧,٢٢	٢,٥ × ٤
٧,٥	١٠,٨٤	٢,٥ × ٤
١٠	١٤,٤٥	٤ × ٤
١٢,٥	١٨,١	٦ × ٤
٢٥-١٥	٢٨,٩-٢١,٦٨	١٠ × ٤
٣٥-٢٥	٤٣,٣٥-٣٦,١٣	١٦ × ٤
٤٠-٣٥	٥٧,٨-٥٠,٥٨	١٦ + ٢٥ × ٣
٥٠	٧٢,٢٥	١٦ + ٣٥ × ٣
٦٠	٨٦,٧	٢٥ + ٥٠ × ٣
٧٥	١٠٨,٣	٣٥ + ٧٠ × ٣
١٠٠-٩٠	١٤٤,٥-١٣٠,١	٥٠ + ٩٥ × ٣
١٢٥-١٢٠	١٧٣,٤١٨٠,٦٤	٧٠ + ١٢٠ × ٣
١٥٠	٢١٦,٧٦	٩٥ + ١٨٥ × ٣
٢٠٠-١٧٥	٢٨٩-٢٥٢,٩	مجموعتين ٣ × ٩٥ + ٥٠
٢٥٠-٢١٠	٣٦١,٢٨-٣٠٣,٤٧	〃 ٣ × ١٢٠ + ٧٠
٣٠٠-٢٦٠	٤٣٣,٥٣-٢٧٥,٧٢	〃 ٣ × ١٨٥ + ٩٥

جدول (٧ - ٣)

مساحة مقطع الكابلات ثلاثية الأوجه المستخدمة لمكثفات جهد منخفض

(كابلات جهد ١٠٠٠ ڤولت طبقاً للمواصفات الانجليزية (BS 6346 : 1969))

كابلات ثلاثة أوجه نحاس

تيار المكثف أمبير	مساحة مقطع الكابل مم٢
حتى ١٥	١,٥
١٦-٢٠	٢,٥
٢١-٢٦	٤
٢٧-٣٤	٦
٣٥-٤٧	١٠
٤٨-٦١	١٦
٦٢-٨٠	٢٥
٨١-١٠٠	٣٥
١٠١-١٢٤	٥٠
١٢٥-١٥٢	٧٠
١٥٣-١٨٨	٩٥
١٨٩-٢١٦	١٢٠
٢١٧-٢٤٨	١٥٠
٢٤٩-٢٨٤	١٨٥
٢٨٥-٣٣٦	٢٤٠
٣٣٧-٣٨٠	٣٠٠
٣٨١-٤٤٠	٤٠٠

كابلات ثلاثة أوجه الومنيوم

مقنن تيار المكثف أمبير	مساحة مقطع الكابل مم ٢
حتى ٤٦	١٦
٤٧ - ٦١	٢٥
٦٢-٧٤	٣٥
٧٥-٨٨	٥٠
٨٩-١١٦	٧٠
١١٧-١٤٠	٩٥
١٤١-١٦٤	١٢٠
١٦٥-١٨٨	١٥٠
١٨٩-٢١٦	١٨٥
٢١٧-٢٥٦	٢٤٠
٢٥٧-٢٩٦	٣٠٠

جدول (٨ - ٣)

مساحة مقطع كابلات أحادية الوجه المستخدمة لمكثفات الجهد المنخفض

(كابلات جهد ١٠٠٠ ڤولت طبقاً للمواصفات الانجليزية *(BS 6346 : 1969)*

كابلات أحادية الوجه نحاس

مقنن تيار المكثف أمبير	مساحة مقطع الكابل مم ٢
٣٤١-٤٠٠	٢٤٠
٤٠١-٤٥٦	٣٠٠
٤٥٧-٥١٢	٤٠٠
٥١٣-٥٧٦	٥٠٠
٥٧٧-٦٤٨	٦٣٠
٦٤٩-٦٩٦	٨٠٠
٦٩٧-٧٥٢	١٠٠

كابلات أحادية الوجه الومنيوم

مقنن تيار المكثف أمبير	مساحة مقطع الكابل مم ٢
٢٥٧-٣٠٠	٢٤٠
٣٠١-٣٤٤	٣٠٠
٣٤٥-٣٩٦	٣٨٠
٣٩٧-٤٤٨	٤٨٠
٤٤٩-٥٠٤	٦٠٠
٥٠٥-٥٦٨	٧٤٠
٥٦٩-٦٣٢	٩٦٠
٦٣٣-٦٩٦	١٢٠٠

جدول (٩ - ٣)

مقاطع الكابلات وسعة مصهرات المكثفات ٤٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز

طبقاً لمواصفات شركة نوكيا (NOKIA) - وحدات مكثفات ثابتة القيمة .

قدرة المكثف ك . ڤار	مقنن تيار المكثف أمبير	سعة المصهر أمبير	مساحة مقطع الكابل نحاس - مم ٢
٧٥	١٠٨	٢٠٠	٣ × ٧٠ + ٣٥
١٠٠	١٤٤	٢٥٠	٢ (٣ × ٣٥ + ١٦)
١٢٥	١٨٠	٣١٥	٢ (٣ × ٥٠ + ٢٥)
١٥٠	٢١٧	٤٠٠	٢ (٣ × ٧٠ + ٣٥)
١٧٥	٢٥٢	٥٠٠	٢ (٣ × ١٢٠ + ٧٠)
٢٠٠	٢٨٨	٥٠٠	٢ (٣ × ١٢٠ + ٧٠)
٢٥٠	٣٦١	٦٣٠	٢ (٣ × ١٨٥ + ٩٥)
٣٠٠	٤٣٣	٨٠٠	٢ (٣ × ٢٤٠ + ١٢٠)

جدول (١٠ - ٣)

مقاطع كابلات وحدود تيار المصهرات - مكثفات ٤٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز

طبقاً لمواصفات شركة نوكيا (NOKIA) وحدات مكثفات آلية .

قدرة المكثف ك . ڤار	المراحل	مقنن تيار المكثف أمبير	سعة المصهر أمبير	مساحة مقطع الكابل نحاس - مم ٢
٤٠	١٥ + ٢٥	٥٨	١٠٠	٣ × ٣٥ + ١٦
٥٠	٢ × ٢٥	٧٢	١٠٠	٣ × ٣٥ + ١٦
٦٥	١٥ + ٢ × ٢٥	٩٤	١٦٠	٣ × ٥٠ + ٢٥
٧٥	٢٥ + ٥٠	١٠٨	١٦٠	٣ × ٧٠ + ٣٥
٩٠	١٥ + ٢٥ + ٥٠	١٣٠	٢٠٠	٣ × ٧٠ + ٣٥
١٠٠	٢ × ٢٥ + ٥٠	١٤٤	٢٠٠	٢ (٣ × ٣٥ + ١٦)
١٢٥	٢٥ + ٢ × ٥٠	١٨٠	٢٥٠	٢ (٣ × ٣٥ + ١٦)
١٥٠	٣ × ٥٠	٢١٧	٣١٥	٢ (٣ × ٥٠ + ٢٥)
١٧٥	٢٥ + ٣ × ٥٠	٢٥٢	٤٠٠	٢ (٣ × ٧٠ + ٣٥)
٢٠٠	٤ × ٥٠	٢٨٨	٤٠٠	٢ (٣ × ٩٥ + ٥٠)
٢٥٠	٥ × ٥٠	٣٦١	٥٠٠	٢ (٣ × ١٢٠ + ٧٠)
٣٠٠	٦ × ٥٠	٤٣٣	٦٣٠	٢ (٣ × ١٥٠ + ٧٠)

جدول (١١-٣)

مساحة مقطع الكابلات المستخدمة لمكثفات الجهد المتوسط ١١ ك . ف

كابلات ثلاثية الوجه الومنيوم

اقصى تيار المكثف أمبير	قدرة المكثف م . ڤار		مساحة مقطع الكابل مم ٢
	١١ ك . ف	١٥ ك . ف	
٥٢	١ر٠	-	١٦
٦٧	١ر٢٥	١ر٧	٢٥
٧٨	١ر٥	٢ر٠	٣٥
٩٦	١ر٨	٢ر٤	٥٠
١٢١	٢ر٣	٣ر١	٧٠
١٤٦	٢ر٧	٣ر٧	٩٥
١٧١	٣ر٢٥	٤ر٤	١٢٠
١٩٢	٣ر٦٥	٥ر٠	١٥٠
٢٢٥	٤ر٢	٥ر٨	١٨٥
٢٦٤	٥ر٠	٦ر٨	٢٤٠
٣٠٧	٥ر٨	٨ر٠	٣٠٠
٣٥٣	٦ر٧	٩ر٠	٤٠٠

كابلات ثلاثية الوجه نحاس

اقصى تيار المكثف أمبير	قدرة المكثف م . ڤار		مساحة مقطع الكابل مم ٢
	١١ ك . ف	١٥ ك . ف	
٦٧	١,٢٥	-	١٦
٨٥	١,٦	٢,٢	٢٥
١٠٣	١,٩٦	٢,٦	٣٥
١٢٥	٢,٤	٣,٢	٥٠
١٥٧	٣,٠	٤,٠	٧٠
١٨٩	٣,٦	٤,٩	٩٥
٢٢١	٤,٢	٥,٧	١٢٠
٢٥٠	٤,٧	٦,٥	١٥٠
٢٨٥	٥,٤	٧,٤	١٨٥
٣٣٩	٦,٥	٨,٨	٢٤٠
٣٨٥	٧,٣	١٠,٠	٣٠٠
٤٤٢	٨,٤	١١,٥	٤٠٠

جدول (١٢-٣)

قدرة المكثفات م . ڤار عند الجهود المختلفة لانواع القاطع المستخدمة مع المكثفات

النوع	التيار المقنن أمبير	مقنن تيار المكثفات أمبير	قدرة المكثفات م . ڤار عند الجهود المختلفة ك . ف			
			٣,٣ ك.ف	٦,٦ ك.ف	١١ ك.ف	٣٣ ك.ف
قاطع زيتي Oil C . B	٤٠٠	٢٨٠	١,٦	٣,٢	٥,٣	١٦ م.ڤار
	٨٠٠	٥٦٠	٣,٢	٦,٤	١٠,٦	٣٢ م.ڤار
	١٢٠٠	٨٤٠	٤,٨	٩,٦	١٦,٠	٤٨ م.ڤار
	١٦٠٠	١١٢٠	٦,٤	٢,٨	٢١,٣	٦٤م.ڤار
قاطع مفرغ Vacuum Contactors	٣٠٠	٢١٠	١,٢	٢,٤	-	- م. ڤار
	٤٠٠	٢٨٠	١,٦	٣,٢	٥,٣	- م . ڤار

٢ -٣ حماية المكثفات : *Protection of Power Capacitors*

تنقسم حماية المكثفات الى :

١ - حماية العناصر المكونة لوحدة مكثف ، وتعرف بالحماية الداخلية ، التى تتم اما باستخدام مصهرات داخلية أو بالكشف عن عدم اتزان العناصر داخل وحدة المكثف ، أو كلاهما .

٢ - حماية وحدة المكثف ضد الجهود الزائدة على العازل عن طريق اعطال المنظومة ، وتعرف بالحماية الخارجية ، وتتم اما باستخدام مصهرات خارجية ،أو أجهزة حماية ، أو كلاهما .

تتكون وحدة المكثف *Capacitor Unit* من مجموعة من المكثفات الصغيرة *Elements* (عناصر) متصلة على التوازى ، أوعلى التوالى ، أو على التوازى والتوالى معا ، وتعتمد قيمة القدرة على عدد العناصر الموصلة على التوازى بينما تعتمد قيمة الجهد على عددالعناصر الموصلة على التوالى . شكل (٧-٣) يوضح مقطع فى وحدة مكثف انتاج وستنجهاوس . شكل (٨-٣) أ ، ب ، جـ ، د يوضح نماذج مختلفة من وحدات مكثفات انتاج وستنجهاوس

تتكون مصفوفة المكثفات *Capacitor Bank* من وحدات مكثفات تجمع على التوالى أو على التوازى أو على التوالى والتوازى معا . شكل [(٨-٣)هـ ، و]يوضح الشكل العام لمصفوفة مكثفات .

استخدام المصهرات فى حماية المكثفات :

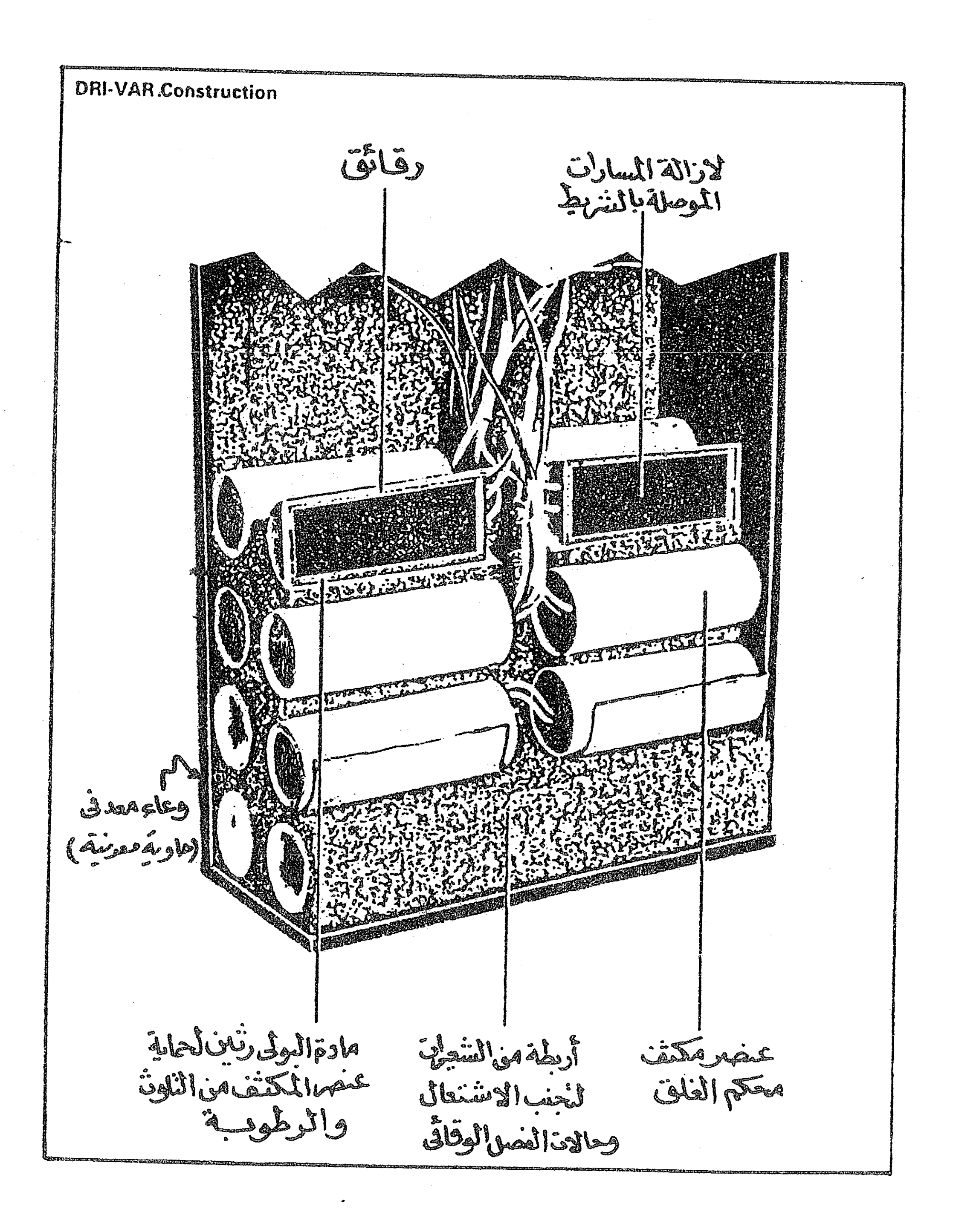
يعرف المصهر - فى ابسط اشكاله - بأنه جهاز حرارى ، يخضع لعلاقة عكسية بين التيار والزمن ، أى أن زمن الفصل يقل كلما أرتفع تيار القصر . يعتمد أقل تيار مقنن للمصهر على معامل الأنصهار ، وهو النسبة بين أقل تيار مقنن للمصهر والتيار المقنن للجهاز المزمع تركيب مصهر له . معامل الانصهار دائما اكبر من الواحد الصحيح ، ويعتمد على نوع المصهر ، فبعض الانواع قيمتة بين ٩ر١ - ٢ وفى أنواع أخرى بين ٤٥ر١ - ٥ر١.

المصهرات المستخدمة مع مكثفات القدرة ، يجب أن تتحمل التيارات الفجائية ، وتيار التوافقيات الناتج عن طبيعة تشغيل المكثفات ، وهذه الأنواع هى :

أ - مصهرات ذات قدرة قطع كبيرة :

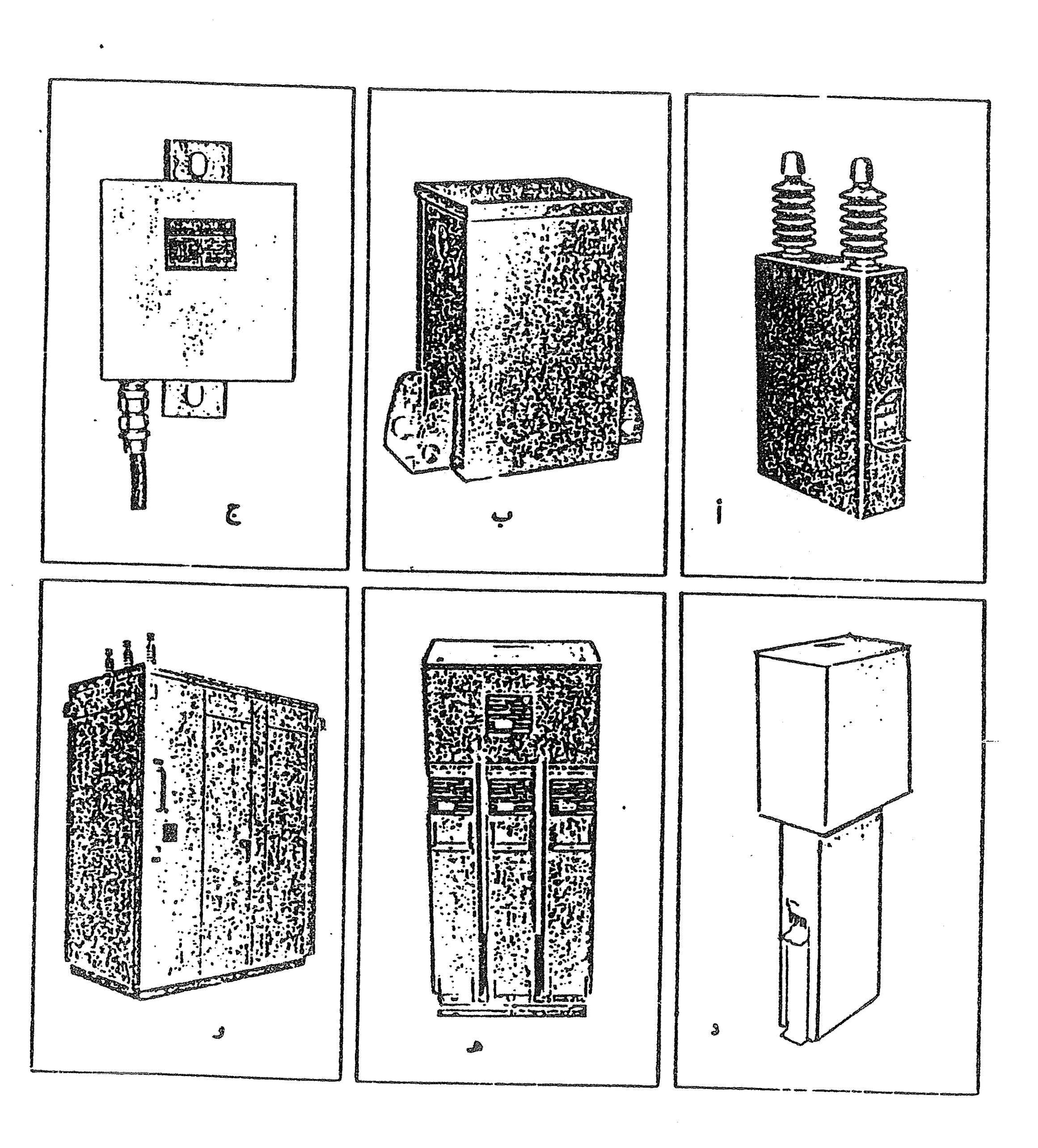
High Rupturing Capacity (HRC) Fuses or Link Type Cartridge Fuses

المادة المنصهرة المستخدمة فى هذا النوع عبارة عن سلك واحد ،فيع جدار أو أكثر ،مصنوع



شكل ٧١ - ٩٣

مقطع فى وحدة مكثفات ذات مادة العزل الجافة - انتاج وستنجهاوس



شكل (٨-٣)

مجموعة مكثفات لتحسين معامل القدرة - انتاج وستنجهاوس

من الفضة ، ومثبت من الطرفين في غطاء من النحاس الاصفر أو الاحمر ، ومحاطة بمادة لاخماد الشرارة عند الفصل ، وهي عبارة عن رمل معالج كيماويا ، ويصنع الجسم الخارجي للمصهر من مادة السيراميك .

توجد المصهرات في احجام مختلفة تعتمد على قيمة تيار القصر (من ١٦ - ٨٠ كيلو أمبير)

ب . مصهرات طرد : *Expulsion Fuses or D- Type Fuses*

يتكون من قاعدة المصهر - وحامل مصهر من النوع ذى القلووظ للتثبيت مع القاعدة - ثم خرطوشة المصهر نفسه ، كما توجد حلقة توجيه بقاعدة المصهر لضبط التلامس بين نهاية خرطوشة المصهر والقاعدة .

القيم القياسية للتيار المقنن ٦، ١٦، ٣٢، ٦٣ أمبير.سعة القطع للمصهرات ١٦ كيلوأمبير

تتم حماية وحدة المكثفات بأحدى الطريقتين الأتيتين :

أ - المصهرات الداخلية : يتم توصيل مصهر مع كل مكثف صغير (عنصر) لعزله . ففى حالة حدوث انهيار فى احدى العناصر يؤدى ذلك لانصهار المصهر الخاص بها ، وبالتالى يتم عزل هذا المكثف فقط وتستمر بقية الوحدة فى الخدمة.

يوضح الشكل (٩ -٣) طريقة توصيل مصهرات داخلية بوحدة مكثفات أحادية الوجه .

تتكون الوحدة من ٣٦ عنصر بعدد ٩ عناصر على التوازى مكونه أربعة مجموعات على التوالى .

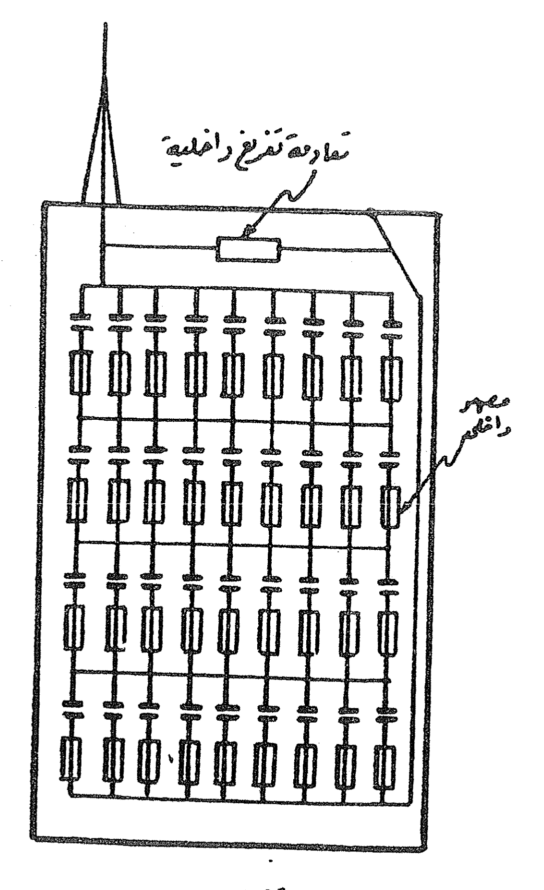
ويوضح شكل (١٠ -٣) وحدة مكثفات ثلاثية الوجه بمصهرات داخلية .

ب - المصهرات الخارجية لحماية وحدة المكثفات . فى حالة ما اذا حدث انهيار بالعناصر الداخلية ، فان ما يلى ذلك أن مصهر الوحدة ينهار ، وبالتالى تعزل الوحدة كلية .

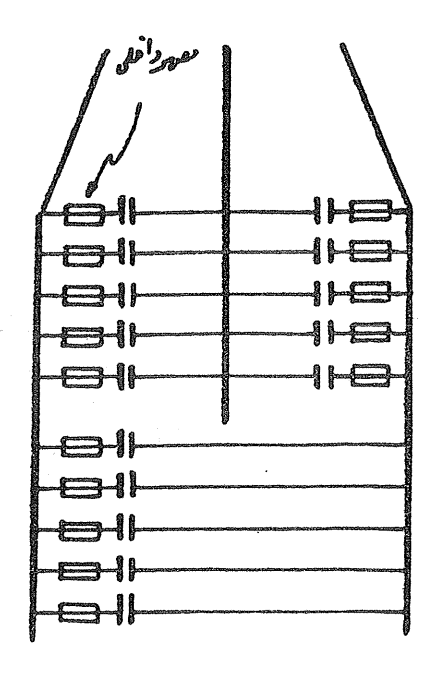
يوضح شكلى (١١- ٣) ، (١٢ - ٣) أمثلة لوحدات مكثفات ذات مصهر خارجى ، وتعتبر المصهرات من المكونات الاساسية فى تصميم المكثفات ، لحماية تأثير أنهيار العزل ، ولضمان استمرارية تشغيل المكثفات ، مع تقليل احتمال حدوث اضطراب فى الشبكة الكهربائية

.أولا : المصهرات الداخلية : *Internal Fuses*

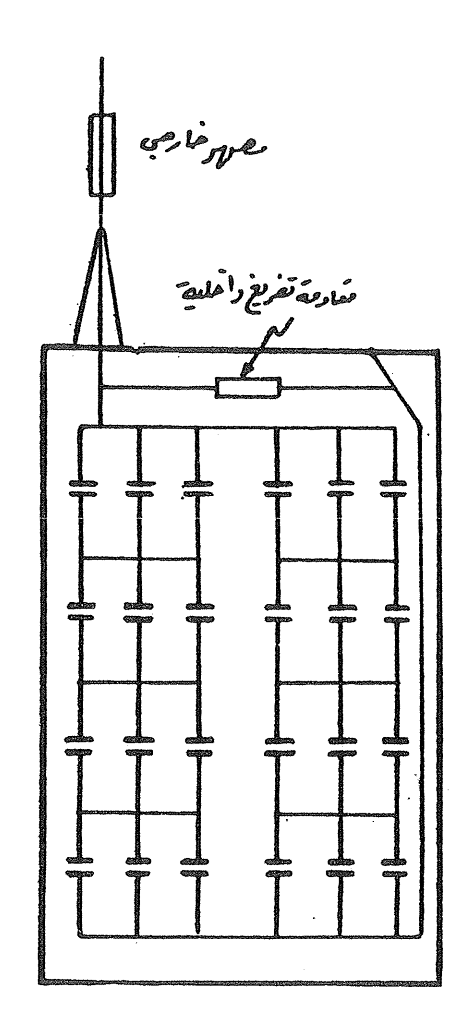
يتكون المصهر المستخدم داخليا من النحاس المقصدر ، لحماية المكثف الصغير ضد التيارات المفاجئة .وبذلك يتم عزل المكثف المنهار بدون حدوث أى تدهور للمنظومة ، وتستمر وحدة المكثفات فى العمل بإيجابية ، تعتمد فى مداها على عدد العناصر المتصلة على التوازى مع العنصر العاطل (المكثف العاطل) ، حيث أن التيار المار بالمصهر أثناء حدوث انهيار العنصر



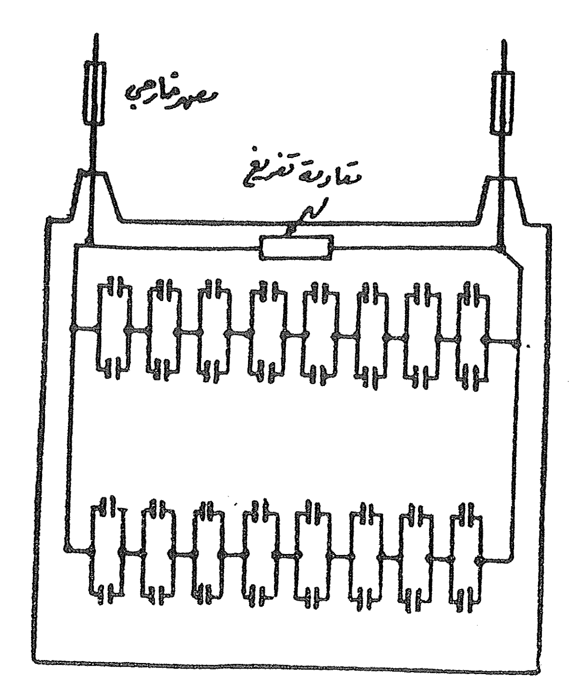
شكل (٩ - ٢)



شكل (١٠ - ٢)



شكل (١١ - ٣)



شكل (١٢ - ٣)

يتراوح بين ١٠ الى ١٥ مرة من قيمة التيار المقنن للعنصر .

يعتمد أختيار المصهر الداخلى على معدل تيار العنصر ، تيار التوافقيات ، عدد مرات تعاقب تفريغ الشحنة من العناصر السليمة الى العنصر العاطل ، وعلى هذا يجب ألا يقل معدل تيار المصهر الداخلى عن ضعف معدل تيار العنصر .

يوضح شكل (١٣-٣) عمل مصهر داخلى فى حالة انهيار عنصر مكثف واتجاه تيار القصر

يوضح شكل (١٤ - ٣) عمل مصهر داخلى فى حالة انهيار عنصر مكثف واتجاه تفريغ الطاقة المختزنة فى المكثفات المتصلة على التوازى مع العنصر العاطل .

تتكون وحدة المكثف عادة تبعا للجهد الذى تعمل عليه ، فحتى جهد ٢ كيلو فولت تتكون وحدة المكثف من عناصر متصلة على التوازى فقط من خلال مصهرات داخلية ، بينما تتكون وحدة المكثف للجهود أعلى من ٢ كيلو ڤولت من عناصر متصلة على التوالى والتوازى معا من خلال مصهرات داخلية .

مميزات وحدة مكثف ذات مصهرات داخلية :

١ - يستمر عمل وحدة المكثف بعد عزل العنصر العاطل من خلال المصهر الخاص بالعنصر

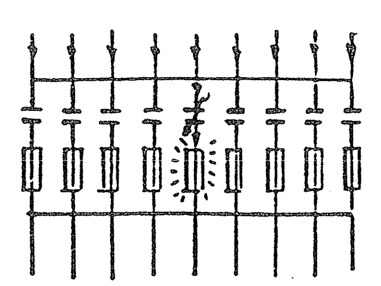
٢ - أدى التطور فى استخدام مواد عازلة مخلوطة (بلاستيك / ورق) لمكثفات الجهد العالى فى الحصول على وحدة مكثف ذات قدرة حتى ٢٥٠ كيلو ڤار ، (أقصى قدرة لوحدة مكثفات باستخدام الورق فى العزل ١٠٠ كيلوڤار)وبهذا يتضح أنها أكثر أقتصادية ، كما أن المصهر الداخلى يجعل امكانية استخدام عدد قليل من الوحدات الكبيرة لعمل مصفوفات بقدرات مناسبة وبذلك نوفر كلا من الحيز والتكاليف. واستخدام هذه الوحدات الكبيرة ذات مصهرات خارجية للأحمال الصغيرة غير ممكن دائما ، وهذه ميزة خاصة لعدد كبير من مصفوفات صغيرة نسبيا مطلوبة للصناعة .

٣ - وحدة المكثف ذات المصهرات الداخلية لاتحتاج الى مصهر خارجى مما يوفر حيز وتكلفة. وقد تم تصنيع وحدات مكثفات اقتصادية حتى جهد ٣ كيلو فولت تستخدم لتحسين معامل القدرة للأفران التأثيرية بدون قلب عند الترددات العادية .

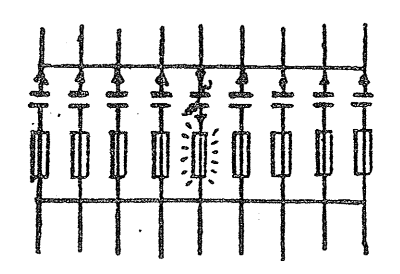
٤ - عندما لاتقبل خصائص التشغيل استخدام مصهرات الطرد ذات التيار غير المحدد ،فتستخدم وحدات مكثفات ذات مصهرات داخلية فى حدود الاماكن المتاحة .

عيوب وحدة المكثف ذات مصهرات داخلية :

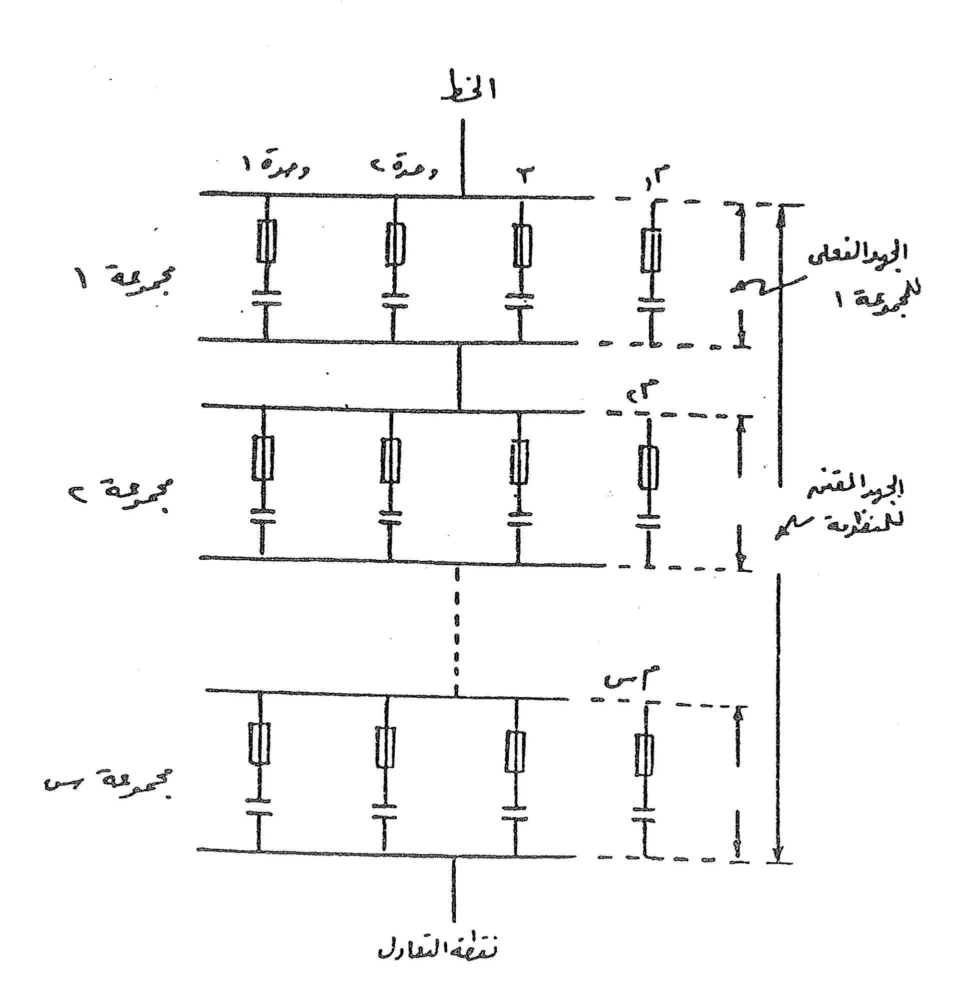
١ - المصهر الداخلى لايستطيع حماية الوحدة فى أغلب أنواع القصر ، فلو أخذنا حالة قصر بين العنصر وجسم الوحدة ، وكانت الوحدة غير مجهزة فى مصدر التغذية بمصهر ذى



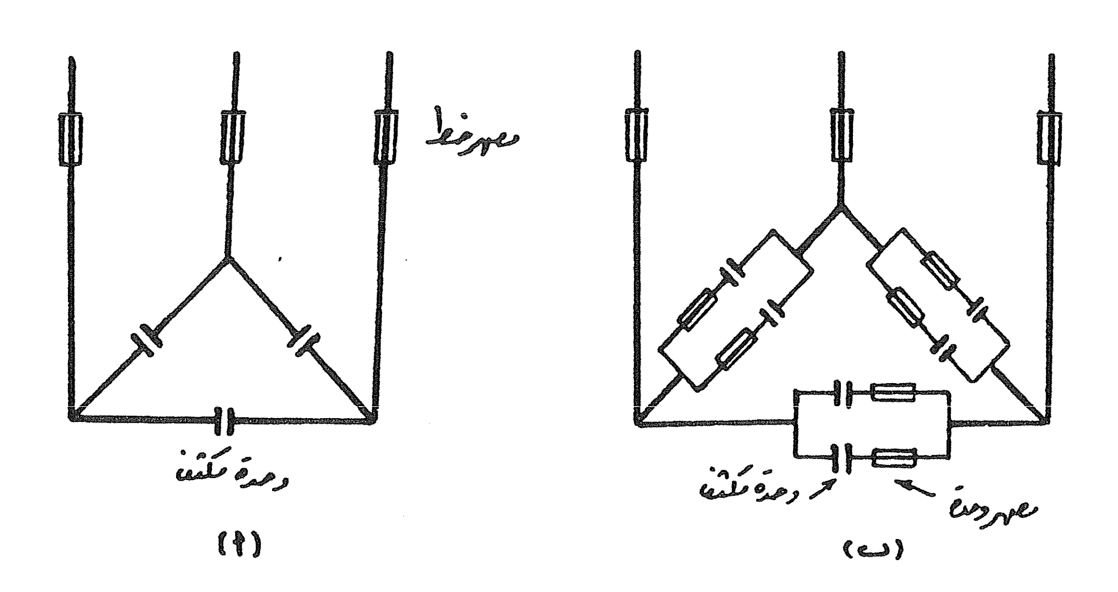
شكل (١٣ - ٣)

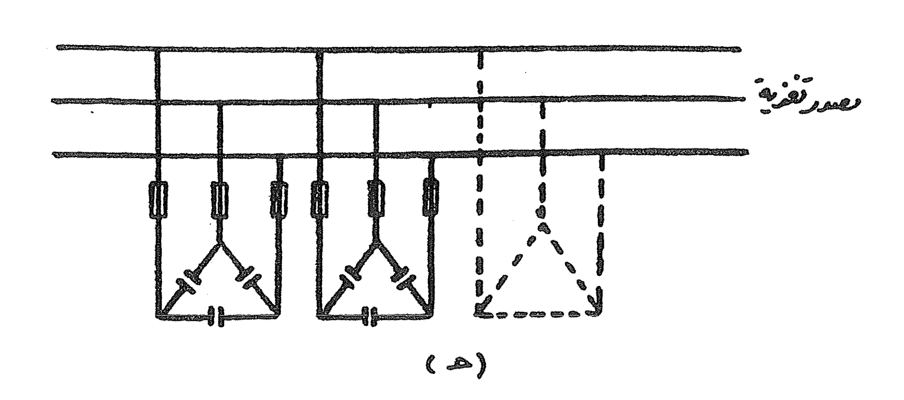


شكل (١٤ - ٣)



شكل (١٦ . ٣)





شكل (١٥ - ٣)

سعة قطع عالية (HRC) فان ذلك سيؤدى الى تمزق وانهيار لوحدة المكثف .

٢ - طرق الكشف على عدم الاتزان السعوى لوحدة المكثفات ضرورية ، وذلك تجنبا لحدوث ارتفاع الجهد غير المرغوب فيه على مجموعة عناصر المكثفات المتصلة على التوازى ، عقب حدوث أنهيار فى المادة العازلة . هذه الطرق ذات حساسية عالية وكثيرة التعقيد وتكلفتها كبيرة، ويرجع ذلك الى أن عدد العناصر أكبر من عدد الوحدات لمصفوفة مكثفات ذات قدرة معينة ، فيحدث عدم الاتزان السعوى الحقيقى عند اقتراب حالة ارتفاع الجهد من قيمة الانذار (١١٠٪ من الجهد المقنن) .

٣ - عند أنهيار أحد العناصر الداخلية لايوجد بيان أو دلالة لحالة المصهر . ولكن يمكن الكشف عن حالة أى مصهر داخلى بقياس سعوية كل وحدة وعمل برنامج دورى للصيانة .

٤ - حماية عدم أتزان المكثفات ضرورية للأحجام المتوسطة - ذات مصهرات داخلية - جهد ١٥ ك .ف ، ولكن ليس ضروريا أستخدامها لمكثفات ذات مصهرات لها سعة قطع بتيار محدد .

٥ - عند تعرض مصفوفة مكثفات جهد عالى لتيارات فجائية مرتفعة فأن أغلب المصهرات الداخلية تنصهر - بينما لاتوجد حالة انهيار عزل داخلى - وبالتالى سيتم تغيير عدد كبير من وحدات المكثفات وهذه تكلفة كبيرة بينما إذا كانت وحدة المكثف مجهزة بمصهر خارجى فانه يمكن تغييرة بسهولة .

ثانيا : المصهرات الخارجية : *External Fuses*

أ - مصهرات ذات سعة قطع تيار محدد : *Current Limiting HRC*

يوضح كلا من شكلى رقم (١١- ٣) ، (١٢ - ٣) وحدتين من المكثفات أحادية الوجه حتى جهد ١٥ ك . ف ذات مصهرات خارجية .

عند حدوث أنهيارلأحد العناصر ترتفع قوى الاجهادات على باقى العناصر المتصلة على التوازى مع العنصر المنهار ، وتكون النتيجة أنهيار متتالى حتى ينهار العزل كله ، ثم ينصهر المصهر الخارجى بدون حدوث تمزق لجسم المصهر .

مصفوفة مكثفات ثلاثية الأوجه بقدرة ٥ ميجا ڤار تتكون من وحدات احادية الوجة متصلة على شكل دلتا ، يتم توصيلها مع مصدر التغذية من خلال مصهرات خارجية HRC ، عند حدوث انهيار للمادة العازلة لاحد الوحدات يعزل المصهر الوحدة العاطلة . شكل (١٥ - ٣) أ .

من الخصائص الرئيسية للمصهرات ذات سعة قطع تيار محدد HRC ، أنها تتحمل الموجات

العابرة ذات الترددات العالية ، الناجمة من تشغيل المكثفات . بالنسبة لصفوفة مكثفات أحادية الوجه ، جهد منخفض ، يكون أقل تيار مقنن للمصهرات ذات سعة قطع كبيرة مساويا ١٫٥ مرة التيار المقنن لصفوفة المكثفات

ولكن عند استخدام مفاتيح على التوازى فيجب أخذ توصيات الشركة الصانعة فى الاعتبار.

يتم توصيل المصهرات بطريقة سليمة مع مصدر التغذية لصفوفة المكثفات ، لضمان اشتغالها بأمان ، ويتم التأكد من خصائصها من حيث قيمة التيار المقنن ، وقيمة تيار القصر .يوضح شكل (١٥ - ٣) طرق توصيل المصهرات لصفوفة مكثفات متصلة دلتا ، لاحجام مختلفة ، للجهود حتى ١٥ ك . ف ، ويتميز توصيل مصفوفة المكثفات على شكل دلتا بعدم ارتفاع الجهد على باقى قطاعات الصفوفة ، عند حدوث أنهيار لوحدة المكثف .

وعلى ذلك فلا ضرورة لاضافة نظام الكشف على عدم الاتزان ، وهذا يوفر حيزا ويقلل من التكاليف .

وغالبا ما تكون المصهرات ذات سعة القطع الكبيرة مجهزة بما يدل على انهيار تيار المصهر ، ومثال ذلك المصهر ذو الطلقة (*Striker Pin*)

يوضح شكل (١٥ - ٣) أ مصفوفة مكثفات عبارة عن ثلاثة وحدات متصلة دلتا ، وفيها نرى أن المصهرات (*HRC*) موصلة على مصدر التغذية .

كما يوضح (١٥ - ٣) ب مصفوفة مكثفات تحتوى على عدد٦ وحدات من المكثفات متصلة دلتا ، ويحتوى كل فرع على وحدتين على التوازى ، ويستخدم فيها مصهر (*HRC*) لكل وحدة ، وكذلك نرى أن المصهرات (*HRC*)موصلة على مصدر التغذية .

ونرى فى الشكل (١٥-٣) جـ مصفوفة مكثفات مكونة من عدد من وحدات المكثفات ، كل ثلاثة وحدات موصلة على شكل دلتا ، وفيها نجد المصهرات (*HRC*) موصلة على كل مجموعة من الخارج على مصدر التغذية

ب - مصهرات طرد ذات سعة تيار غير محدد :

Non- Current Limiting Expulsion Fuses

هذا النوع من المصهرات يختلف عن المصهرات ذات سعة القطع الكبيرة (*HRC*)فى النقاط التالية :

- تكون سعرها أقل
- تكون قيمة سعة القطع أصغر
- توجد قيمة أصغر للتيار المقنن وزمن الانصهار

تحمى مصهرات الطرد وحدة المكثف ، أو المصفوفة ، من التيارات العابرة ذات الترددات العالية .أما سعة القطع فتكون أقل من مستوى القصر للمنظومة أو الشبكة المركب عليه االمصهر.

هذا النوع من المصهرات يفضل استخدامه فى حالة توصيل وحدات مكثفات على التوالى ، للحد من قيمة تيار القصر ، مثل حالة توصيل وحدات المكثفات على شكل نجمة غير مؤرضة ، ويجهز مصهر الطرد ببيان أو دلالة ، تبين أداءه لوظيفته ، وهى عبارة عنحبلة موزونه *Weighted Lanyard* معلقة أسفل المصهر فى اتجاه رأسى .

يفضل استخدام مصهرات الطرد لمصفوفات المكثفات المركبة على حوامل مفتوحة خارج المبانى ، وذلك لانه أثناء اداء مصهرات الطرد لوظيفتها ، تنبعث مادة غازية مؤينة

اما عالميا ، وفى الصناعة ، فأنه يفضل استخدام مصهرات ذات سعة قطع كبيرة (HRC) لمصفوفة مكثفات متصلة دلتا حتى جهد ١٥ ك . ف .

ويمكن الحصول على مصفوفة المكثفات للجهد العالى باستخدام وحدات مكثفات على شكل مجموعات متصلة على التوازى / التوالى ، بحيث تكون حماية كل وحدة مكثف من خلال مصهر، ثم يتم تركيب مصهر على خط التغذية ، وذلك لحماية المصفوفة . نرى فى شكل (١٦ ـ ٣) طريقة واضحة لتوصيل مصفوفة مكثفات مكونة من عدد (س) مجموعات متصلة على التوالى ، حيث تتكون كل مجموعة من (م) وحدة مكثفات متصلة على التوازى ، مجهزة كل منها بمصهر خاص بالوحدة على حدة . وفى هذه الحالة يكون المجموع الكلى لجهود المجموعات مساويا الجهد المقنن للشبكة الكهربائية ، التى سيتم تركيب المصفوفة عليها .

توضح الجداول أرقام (١٣- ٣) ، (١٤ - ٣) عدد المجموعات المتصلة على التوالى ، وأقل عدد من وحدات المكثفات ذات المصهرات ، التى تتصل على التوازى فى كل مجموعة – فاذا حدث انهيار لأحد مكثفات المجموعة ، وتم عزله بوساطة المصهر ، فان نسبة الجهد المتبقى على المجموعة فى المائة يمكن الحصول عليه أيضا من هذه الجداول .

نرى فى الشكل (١٧ - ٣) مصفوفة مكثفات مركبة خارج المبنى – تحتوى المصفوفة على مجموعتين على التوالى كل مجموعة تتكون من ١٨ وحدة مكثف على التوازى .

جدول (١٣ -٣)

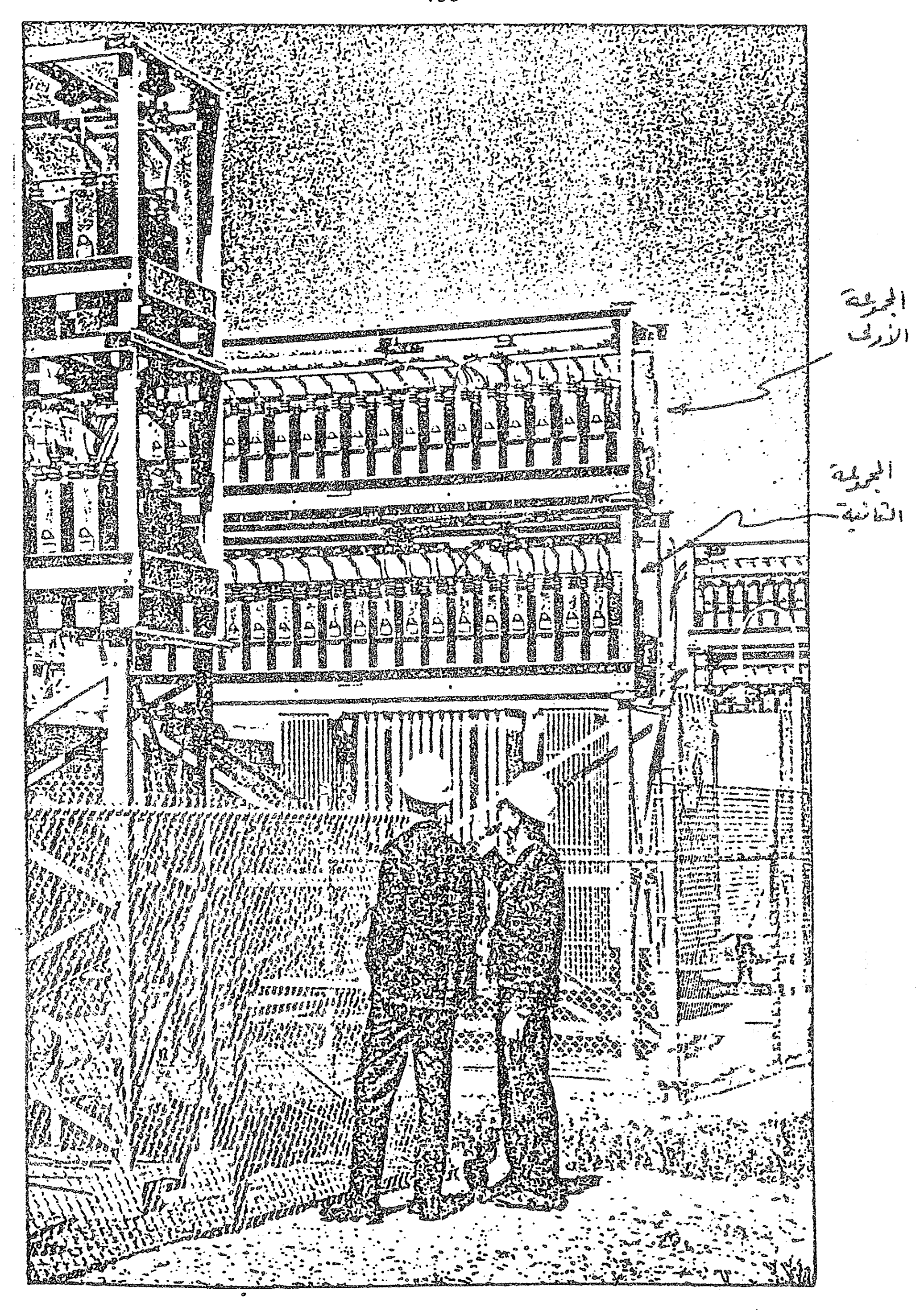
العلاقة بين التيار والجهد (لحمة مؤرضة) عند عزل الوحدة المنهارة
من المكثفات المركبة على الوجه

النسبة المئوية للجهد على الوحدات المتبقية	التيار المار خلال مصهر أثناء الخطأ الزمن عادى	أقل عدد من الوحدات لكل مجموعة	عدد مجموعات التوالى
—	—	١	١
١٠٩	١٢	٦	٢
١٠٩	١٢	٨	٣
١٠٩	١٢	٩	٤
١٠٩ر٨	١١ر٢	٩	٥
١١٠	١ ر٨	٩	٦
١٠٩ر٤	١١ر٧	١٠	٧
١١٩ر٥	١١ر٤	١٠	٨
اقل من ١١٠	١١ر٢	١٠	٩
اقل من ١١٠	١١ر١	١٠	١٠
اقل من ١١٠	١١	١٠	١١
اقل من ١١٠	١ ر٩	١٠	١٢
اقل من ١١٠	١ ر٨	١٠	١٣
اقل من ١١٠	١١ر٨	١١	١٤
اقل من ١١٠	١١ر٨	١١	١٥
اقل من ١١٠	١١ر٧	١١	١٦

جدول (١٤ -٣)

العلاقة بين التيار والجهد (الجهة غير مؤرضة) عند عزل الوحدة المنهارة من المكثفات المركبة على الوجه

عدد مجموعات التوالى	أقل عدد من الوحدات لكل مجموعة	التيار المار خلال مصهر أثناء الخطأ - الزمن عادي	النسبة المئوية للجهد على الوحدات المتبقية
١	٤	١٢	١٠٩
٢	٨	١٢	١٠٩
٣	٩	١١ر٦	١٠٩ر٥
٤	٩	١٠ر٨	١١٠
٥	١٠	١١ر٥	١١٠
٦	١٠	١١ر٢	١١٠
٧	١٠	١١	١١٠
٨	١٠	١٠ر٩	١١٠
٩	١١	١١ر٩	اقل من ١١٠
١٠	١١	١١ر٨	اقل من ١١٠
١١	١١	١١ر٧	اقل من ١١٠
١٢	١١	١١ر٦	اقل من ١١٠
١٣	١١	١١ر٦	اقل من ١١٠
١٤	١١	١١ر٥	اقل من ١١٠
١٥	١١	١١ر٥	اقل من ١١٠
١٦	١١	١١ر٥	اقل من ١١٠



شكل (١٧ - ٣)

مصفوفة مكثفات ذات قدرة عالية - تركيب خارج المبنى - لتحسين معامل القدرة لمحطة ذات قدرة كبيرة انتاج وستنجهاوس

استخدام أجهزة الحماية فى حماية المكثفات :

عند حدوث قصر وانصهار أحد المصهرات الداخلية أو الخارجية المركبة على وحدة مكثف أو مصفوفة مكثفات ، يحدث ارتفاع فى الجهد على مجموعة المكثفات المتصلة على التوازى مع هذا المصهر ، ويرجع هذا إلى زيادة ممانعة المجموعة نتيجة أنخفاض قيمة السعة المكافئة للمجموعة المتوازية بالفاراد .وللحفاظ على المكثفات يجب أن يكون عمل المصهر سريعا جداً ، وذلك قبل حدوث أي انصهار لمصهر آخر بنفس المجموعة ، وبالتالى ارتفاع متتالى فى الجهد .

هذا وتوجد عادة دائرة كهربائية تعمل بطريقة محددة ، لكى تعطى انذاراً ، بحيث تكشف عن الزيادة فى الجهد ، قبل الوصول الى أقصى قيمة جهد يمكن ان تتحملها المكثفات ، وهى ١ر١ من قيمة الجهد المقنن ، أو تقوم هذه الدائرة بفصل المجموعة كلية عند وصول الجهد إلى ١ر١ من قيمة الجهد المقنن للمجموعة ، ويعرف هذا النظام بالحماية ضد عدم الاتزان .

كذلك يتم حماية مصفوفة المكثفات من التيارات المرتفعه ، الناتجة عن الجهود المرتفعة، ووجود التوافقيات ، وذلك عن طريق حماية ضد زيادة التيار ، وضد تيارات القصر .

أولا : الحماية ضد عدم الاتزان : *Capacitance Unbalance Protection*

يمكن الكشف عن عدم الاتزان ، أما بأستخدام دوائر التيار أو الجهد

أ - الحماية باستخدام عدم اتزان التيار : *Unbalanc Current Protection*

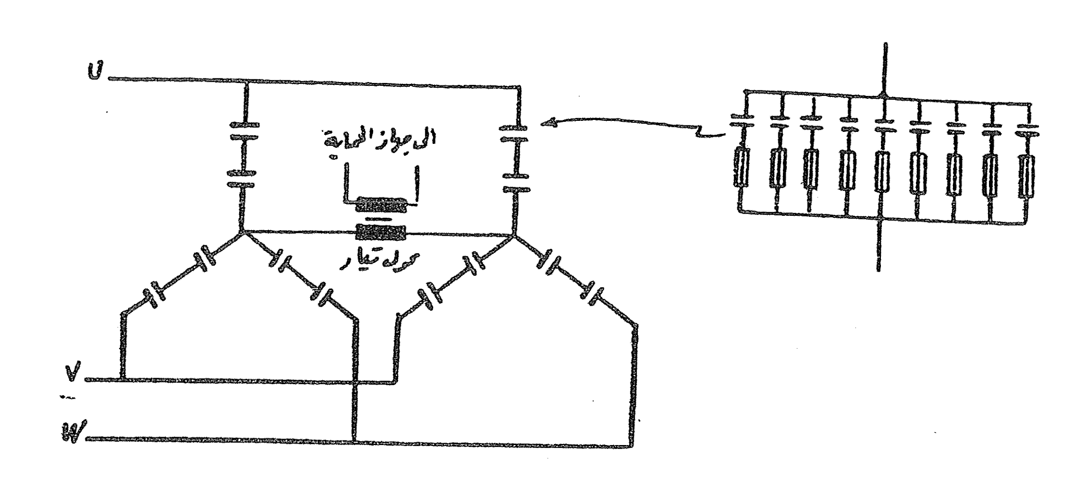
وهذه الطريقة تستخدم مع مصفوفات المكثفات ذات الجهود المتوسطة حتى ١٥ كيلو ڤولت المركبة على ثلاثة أوجه - تقسم المصفوفة فى هذه الحالة إلى مجموعتين ، بتوصيل كل مجموعة على شكل نجمه غير مؤرضة ، وتوصل نقطتى التعادل للمجموعتين من خلال الملف الابتدائى لمحول التيار الموصل بينهما ، كما يوضح ذلك شكل (١٨ - ٣) . يوصل بعد ذلك الملف الثانوى لمحول التيار مع جهاز عدم اتزان التيار ، الذى يعمل على النحو الآتى : فى شكل (١٨ ـ ٣) المجموعة مكونة من عدد ٦ وحدات مكثفات ، وحدتين على التوالى لكل وجه ، الوحدة عبارة عن مجموعة عناصر متصلة على التوازى ، بحيث يكون كل عنصر متصل بمصهر داخلى . فى حالة الاتزان تكون المصهرات الداخلية جميعها سليمة ، حيث لايمر تيار تقريبا بين نقطتى التعادل ، مما لايدع مجالا لمرور تيار بمحول التيار ، وإن كان هناك تيار صغير جدا يمر بين نقطتى التعادل ، وذلك نتيجة عدم امكانية تطابق جميع المكثفات المصنوعة فى نفس المصنع تطابقا تاماً فى جميع المواصفات (تفاوت التصميم *Design Tolerance*) ، كما أن هناك سماحية

فى تصنيع المكثفات ينتج تيار عدم اتزان مسموحا به ، ولايكفى لتشغيل جهاز الحماية . فى حالة انصهار أحد المصهرات يحدث أختلاف فى الجهد بين نقطتى التعادل ، فيمر تيار بمحول التيار ، تعتمد قيمته على عدد العناصر المتصلة بكل مجموعة ، وبالتالى يمر تيار بجهاز حساس يمكن ضبطه عند قيم صغيرة للتيار ، وهو الذى يسمى بجهاز الحماية ضد عدم أتزان التيار .

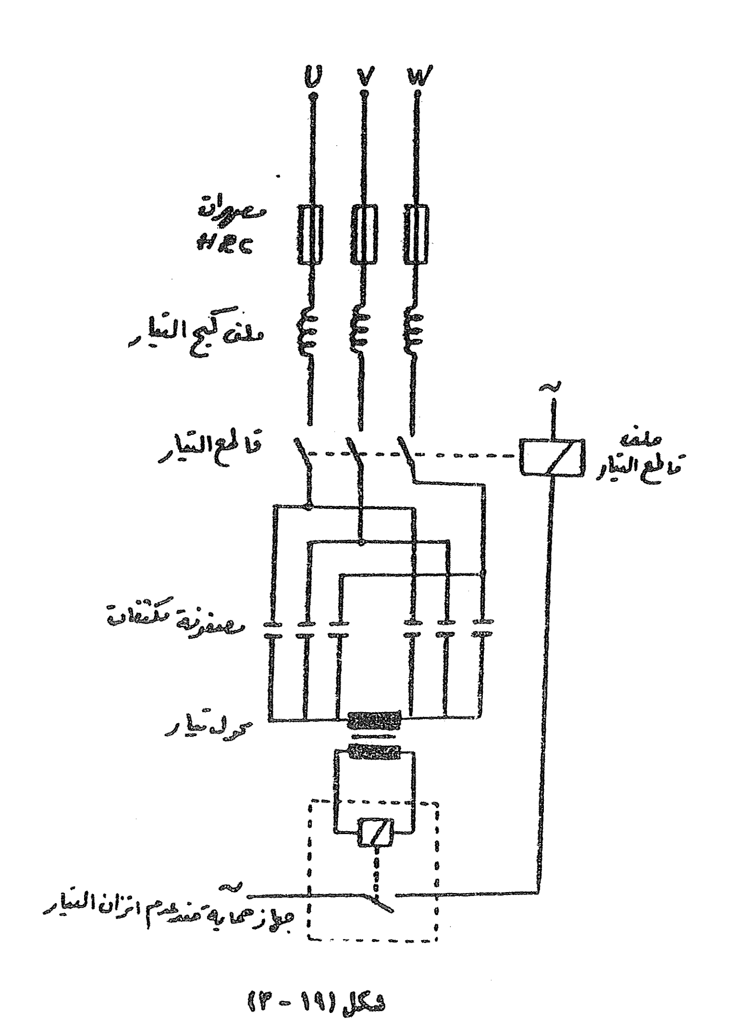
يضبط جهاز الحماية ضد عدم اتزان التيار عند قيمتين ، الاولى تعطى انذاراً والثانية تعطى الاشارة لفصل قاطع المجموعة ، وتعتمد قيمتى الضبط على قيمة الزيادة فى الجهد الناتج عن انصهار مصهر أو أكثر من المجموعة ، بحيث تفصل المجموعة إذا حدثت زيادة فى الجزء ١ر١ مرة من قيمة الجهد المقنن للمنظومة . هنا ، ويزود جهاز الحماية بتمم زمنى لمنع التشغيل أو الاداء الزائف .

شكل (١٩-٣) يوضح طريقة توصيل مصفوفة مكثفات مكونة من عدد ٦ وحدات جهد متوسط على شكل نجمة / نجمة موصلة على مصدر التغذية من خلال مصهرات (HRC) ، وملف كبح تيار ، وقاطع تيار . وتكون تغذية ملف التيار لجهاز الحماية ضد عدم اتزان التيار من الملف الثانوى لمحول التيار . فعند حدوث عطل بعنصرأو اكثر من مكونات وحدة المكثف ، يقوم جهاز الحماية بتشغيل قاطع التيار ، أو يعطى إنذار معتمداً على قيمة تيار عدم الاتزان .

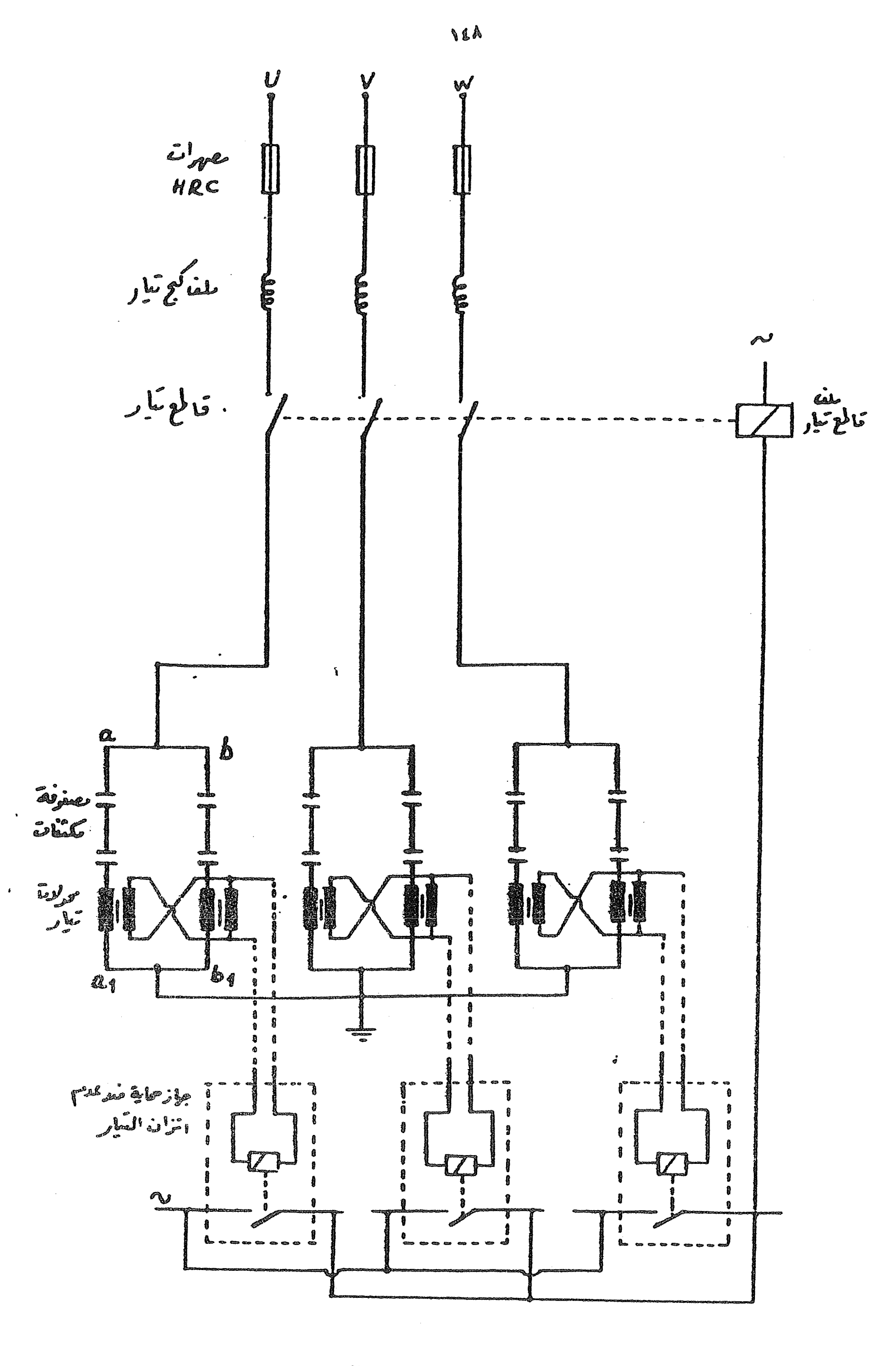
يفضل مع مصفوفات المكثفات ذات القدرات العالية والجهود الفائقة ، والتى يستخدم فيها عدد كبير نسبيا من وحدات المكثفات ، استخدام عدد ثلاثة أجهزة حماية ضد عدم اتزان التيار ، جهاز على كل وجه ، حيث يغذى كل جهاز من الملفين الثانويين لمحولى تيار ، موصلين توصيلا فرقيا كما فى شكل (٢٠ - ٣) ، وهما يمران تيارا تتوقف قيمته على فرق التيارين المارين بالفرعين bb و aa فى جهاز الحماية ضد عدم اتزان التيار . ففى حالة الاتزان ، تكون جميع المصهرات الداخلية سليمة ، حيث يكون التياران المارن فى الفرعين متساويين . أما عند حدوث أنصهار لأحد المصهرات أو اكثر لوحده مكثفات (بالوجه (u) مثلا) فأنه يحدث اختلاف بين التيارين المارين بالفرعين bb و aa يؤدى الى تشغيل جهاز الحماية ضد عدم الاتزان المركب على نفس الوجه ، الذى يعمل على فصل قاطع التيار أو يعطى أنذاراً ، وذلك على حسب قيمة تيار عدم الاتزان .



شكل (١٨ - ٢)



شكل (١٩ - ٢)


U
V
W
مصهرات
HRC
ملف كبح تيار
قاطع تيار
ملف
قاطع تيار
a
b
مصفوفة
مكثفات
محولة
تيار
a1
b1
جهاز حماية ضد عدم
اتزان التيار

شكل (١٠ - ٢)

ب - الحماية ضد عدم اتزان الجهد *Unbalance Voltage Protection*

في حالة مصفوفات المكثفات ذات القدرات الصغيره ، والتي لايمكن توصيلها علي شكل (نجمة / نجمة) ، وبالتي لايمكن الكشف عن عدم الاتزان فيها باستخدام دوائر التيار ، كما سبق شرحه ، يتم الكشف عن الاعطال داخل وحدة المكثف بقياس عدم اتزان الجهد ، أما بالنسبه للقدرات الكبيره ، فانه يمكن توصيل المكثفات علي شكل (نجمة / نجمة) ، وبالتالي يتم الكشف عن عدم الاتزان اما باستخدام دوائر الجهد أو التيار .

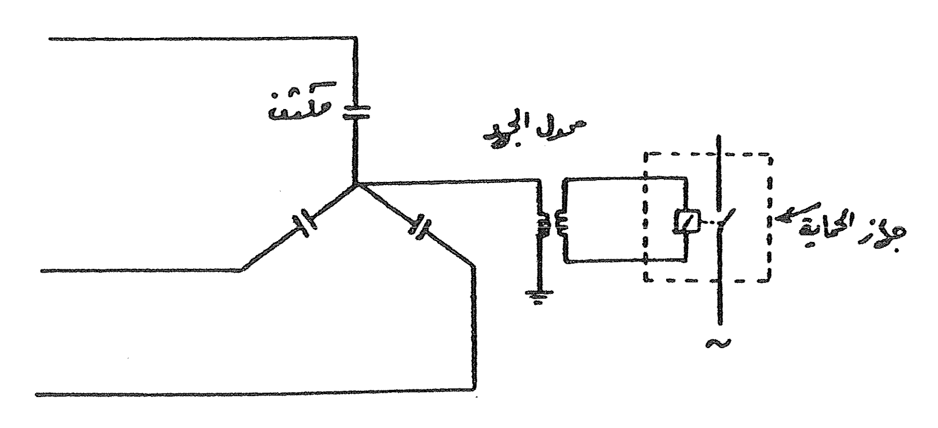
نورد فيما يلي طريقة أستخدام دوائر الجهد :

١ - إذا كانت مصفوفة المكثفات متصله علي شكل نجمة ، يمكن استخدام احدي الطريقتين الآتيتين :

- بتوصيل محول جهد ذو تصميم خاص ، بين نقطه التعادل والارض لتوصيلة النجمة ، ويغذي ملف الجهد بجهاز الحماية ضد عدم اتزان الجهد من الملف الثانوي لمحول الجهد كما في شكل (٢١ - ٣) ، في حالة اتزان وحدات المكثفات ، تكون جميع المصهرات الداخليه سليمة ، فتكون محصلة الجهد عند نقطة التعادل تساوي صفراً . إذا حدث انهيار لأحد عناصر المكثفات ، يرتفع جهد نقطة التعادل ، أي ينتج جهد علي الملف الثانوي لمحول الجهد ، فيؤدي ذلك الي تشغيل جهاز الحماية ضد عدم اتزان الجهد ، الذي يعطي الاشارة للعمل علي فصل قاطع التيار ، او مجرد أنذار ، وذلك علي حسب قيمة الجهد الناتج عند نقطة التعادل ، بمعني آخر معتمداً علي عدد المكثفات المنهارة داخل الوحدة .

- توصيل ثلاثة محولات جهد ، علي أن يوصل كل محول علي التوازي مع وحدات المكثفات المتصلة علي كل وجه ، حيث يتم توصيل الملفات الثانوية لمحولات الجهد علي التوالي ، لكي تغذي ملف الجهد لجهاز الحماية ضد عدم اتزان الجهد ، أو بمعني آخر فانه يتم توصيل الملفات الثانوية لمحولات الجهد علي التوالي ، علي شكل دلتا مفتوحة ، ثم يوصل ملف الجهد بجهاز الحماية بين طرفيها كما في شكل (٢٢-٣) ، في حاله الاتزان تكون محصلة الجهد بين طرفي الدلتا المفتوحة تساوي صفراً . أما في حالة عدم الاتزان فانه ينتج فرق جهد بين طرفي الدلتا المفتوحة ، وهو الذي يعمل علي تشغيل جهاز الحماية.

٢ - اذا كانت مصفوفة المكثفات متصله علي شكل (نجمة / نجمة) يتم توصيل محول الجهد بين نقطتي التعادل ، ثم يغذي ملف الجهد لجهاز الحماية ضد عدم اتزان الجهد



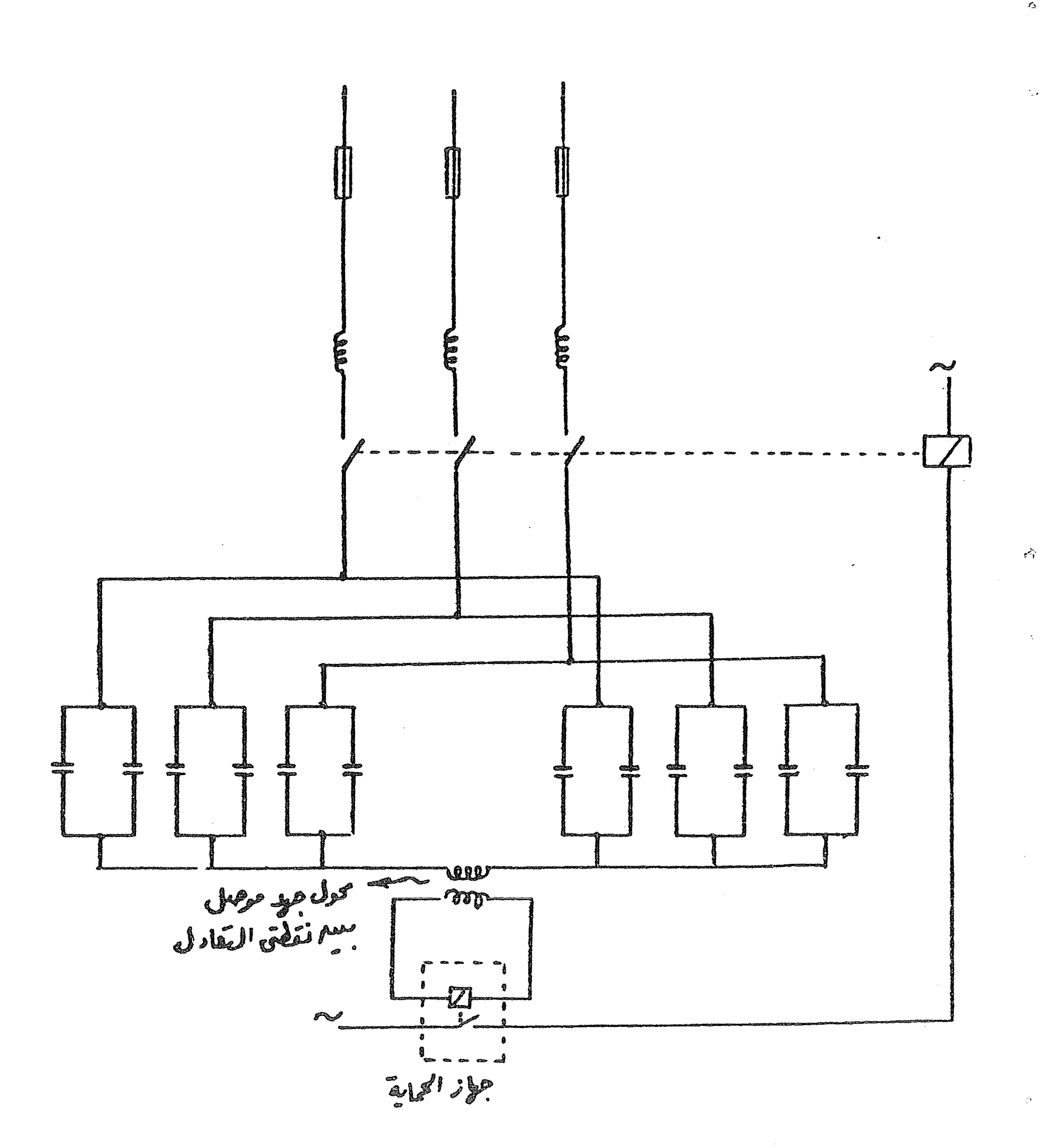
شكل (٢١ - ٢)

محولات الجهد موصلة نجمة / دلتا مفتوحة

الملفات الثانوية للدلتا المفتوحة

جهاز الحماية

شكل (٢٢ - ٢)



شكل (٢٣ - ٢)

من الملف الثانوي لمحول الجهد كما في شكل (٢٣ - ٣) ، في حالة الاتزان تكون محصلتي الجهد عند نقطتي التعادل مساويه للصفر ، في حالة عدم الاتزان ينتج فرق جهد بين نقطتي التعادل يؤدي إلي تشغيل جهاز الحماية .

ثانيا : الحماية ضد زيادة التيار وتيارات القصر

Over Current and Short Circuit Protection

يعتبر جهاز الحماية ضد زيادة التيار وتيارات القصر هو الحماية الرئيسية لصفوفات المكثفات وأجزاء الدائره المساعدة ، مثل ملف كبح التيار ، كذلك القضبان الرئيسيه ، الكابلات العازلات ، بالاضافه إلي جميع التوصيلات الخارجية .

يوصل جهازي حماية علي وجهين فقط ، في حاله توصيل مصفوفه المكثفات علي شبكه كهربائيه معزوله ، كما يتم توصيل ثلاثه أجهزه حمايه علي الأوجه الثلاثة ، عندما تكون الشبكه الكهربائيه موصله علي شكل نجمة مؤرضة ، ويكون جهاز الحماية مزودا بتأخير زمني ، لضمان عدم الاداء الزائف . يضبط جهاز الحماية ضد زيادة التيار عند قيمه حوالي ١,٣ مرة من قيمة التيار المقنن لصفوفة المكثفات ، مع الأخذ في الاعتبار قيمة السماحية السعوية الموجبة لصفوفة المكثفات ، والتي تقدر بمعرفه المنتج ، فمثلا إذا كانت + ٥ ٪ فأن قيمة ضبط جهاز الوقاية ضد زيادة التيار تكون علي النحو الآتي :

تيار الخط المقنن (من لوحة البيان) × ١,٠٥ × ١,٣ = ١,٣٦٥ × تيار الخط المقنن، ويكون ضبط العنصر الخاص بتيارات القصر ، بحيث يعطي الاشارة بفصل قاطع التيار في حدود زمن لايتعدي ٠,٢٥ ثانية ، وعند قيمة تيار تتراوح بين ٢ - ٦ مرات التيار المقنن . يوضح شكل (٢٤ - ٣) مصفوفة مكثفات تحتوي علي حماية ضد عدم اتزان التيار تعطي الاشارة بفصل قاطع المجموعه فقط ، اما جهاز الحماية ضد زيادة التيار ، فيعطي الاشارة بفصل القاطع الرئيسي لصفوفة المكثفات .

ثالثا : الحماية ضد زيادة الجهد *Over Voltage Protection*

تصمم مكثفات القدرة بحيث تتحمل زيادة في الجهد حتي ١,١ من الجهد المقنن .

في حالة الاحمال المنخفضة تظهر توافقيات التيار من الدرجة الخامسة والسابعة مسببة ارتفاع في الجهد علي مجموعة المكثفات ، ولذلك يجب أن تزود بجهاز حماية ضد زياده الجهد ، يغذي من الملف الثانوي لمحول جهد ، يركب مع المجموعة ويعطي الاشارة بفصل قاطع التيار قبل الوصول إلى أقصى قيمة تتحملها المكثفات ، وذلك بتأخير زمني لمنع الاداء الزائف

U
V
W
المنبع
القاطع الرئيسي
جهاز وقاية ضد زيادة التيار
محول تيار
قاطع المجموعة الأولى
قاطع المجموعة الثانية
محول تيار
محول تيار
جهاز وقاية ضد عدم اتزان التيار في المجموعة الأولى
جهاز وقاية ضد عدم اتزان التيار في المجموعة الثانية

شكل (٢٤ - ٣)

٣ - ٣ التحكم في المكثفات آليا *Automatic Control Of Capacitors*

يمكن توصيف المكثفات من حيث التشغيل ، إما من النوع الثابت *(Fixed Type)* أو النوع القابل للفصل والتوصيل *(Switched Banks)* .

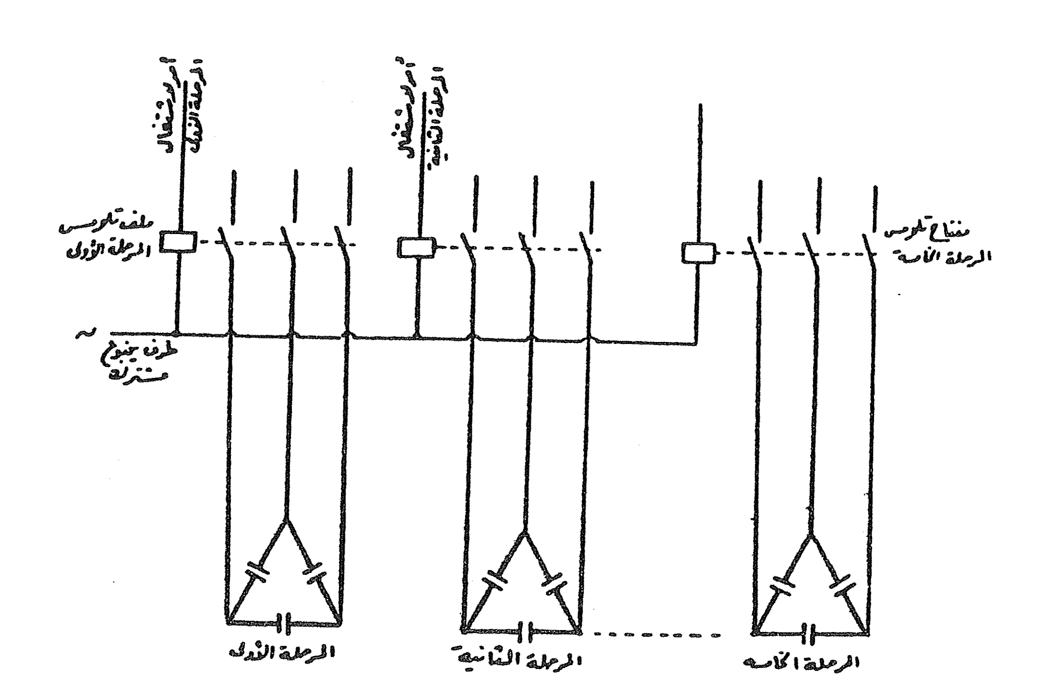
من عيوب النوع الثابت أنه يعمل علي رفع جهد الشبكة الكهربائية إلي قيم أعلي من الجهد المقنن ، في خلال فترات اللاحمل ، وبعض الأحمال الخفيفة ، كذلك تقل الاستفادة من تخفيض المفاقيد ، لان أختيار قدرتها يعتمد علي قدرة غير فعاله ثابتة خلال ساعات اليوم الكامل ، ولذلك يفضل أستخدام المكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل، حيث يمكن التحكم في اضافة قيمة القدرة غير الفعالة اللازمة للشبكة الكهربائية ، وبذلك يتحسن الجهد وتقل المفاقيد ، إذا كانت أحمال الشبكة الكهربائية للمصنع - المراد تركيب مكثفات له - ثابتة تقريبا خلال فترات التشغيل والورديات ، فانه يمكن تركيب مكثفات من النوع الثابت ، اما اذا كانت الاحمال تتغير بصفة مستمرة ، خلال فترات التشغيل ، فانه يفضل تركيب مكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل . في حالة الاحمال التي تجمع بين الحالتين السابقتين ، فانه يمكن تركيب مكثفات تحتوي علي جزء ثابت ، وجزء من النوع القابل للفصل والتوصيل .

المكثفات من النوع القابل للفصل والتوصيل تقسم إلي أجزاء تسمي مراحل *(Steps)* لها قدرات (فار) محددة ، حيث يتم التحكم في دخول مرحلة ، أو اكثر ، عن طريق أجهزة تحكم آلي ، من خلال مفتاح تلامس لكل مرحلة ، في الجهود المتوسطة يكون عدد المراحل ٢ أو ٣ بينما في الجهود المنخفضة يمكن أن يصل عدد المراحل الي ١٤ مرحلة ، يوضح جدول (١٠-٣) قدرة بعض مكثفات الجهد المنخفض ومايقابلها من مراحل .

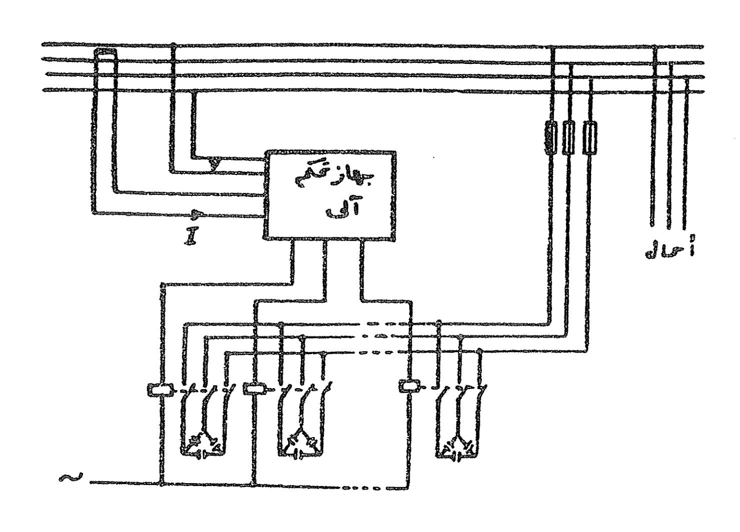
طرق التحكم الآلي

تكون أجهزة التحكم الآلي حساسة للتغير في أحد أو اكثر من مكونات العناصر الكهربائية (التيار - الجهد - الزاوية ......) بحيث أنه عند حدوث تغيير معين يسمح جهاز التحكم بتوصيل (أو قطع) التيار الكهربي لملف مفتاح التلامس لمرحلة المكثفات المراد توصيلها (أو فصلها) علي حسب الاحتياج .

يوضح شكل (٢٥ - ٣) توصيل عدد خمسة مراحل مكثفات من خلال مفتاح تلامس لكل مرحلة . ويوضح شكل (٢٦ - ٣) دوائر الربط بين جهاز تحكم آلي ومراحل المكثفات. جميع أجهزه التحكم الآلي المستخدمة حاليا من النوع الاستاتيكي صغير الحجم .



شكل (٢٥ - ٣)



شكل (٢٦ - ٣)

يتكون جهاز التحكم الآلي من عناصرأساسية هي :

١ - عنصر قياس يغذي من دوائر التيار أو الجهد أو الاثنين معا حسب نوع التحكم .

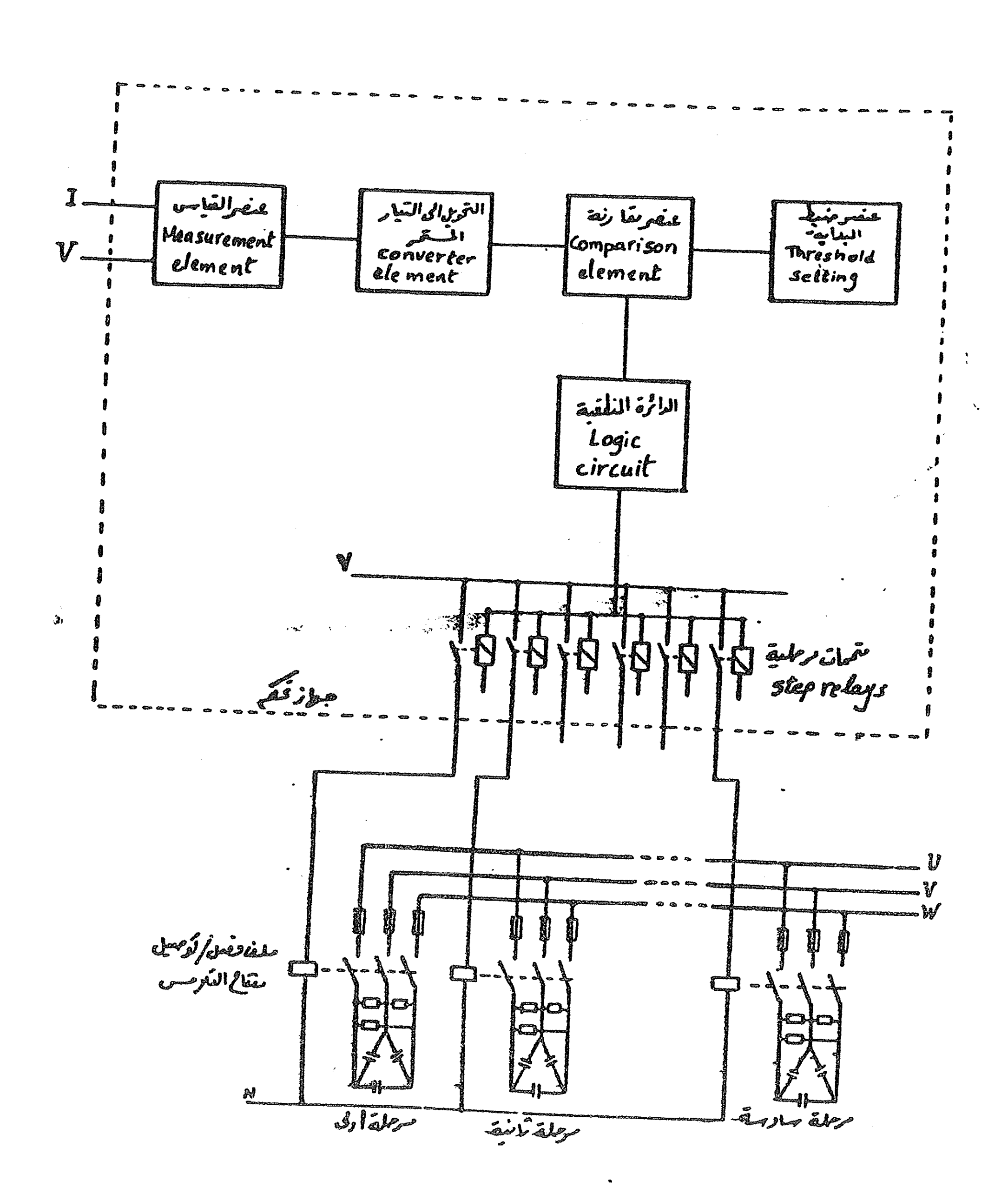
٢ - عنصر تحويل التيار المتردد إلي تيار مستمر .

٣ - عنصر ضبط البداية ، حيث يتم ضبط القيمة المراد تشغيل الجهاز عندها .

٤ - عنصر مقارنة بين مخرج عنصر القياس ، بعد التحويل الي تيار مستمر ، ومخرج عنصر الضبط .

٥ - دوائر منطقيه لتحويل مخرج عنصر المقارنه الي اشاره موجبة او سالبة ، ومعني الاشاره الموجبه أن تسمح الداوئر المنطقيه بتوصيل التيار الكهربي لملف مفتاح تلامس المرحله المراد توصيلها ، ومعني الاشاره السالبة أن تقطع الدائره المنطقية مرور التيار الكهربي لملف مفتاح التلامس للمرحله المراد فصلها.

نجد في شكل (٢٧ - ٣) تمثيل مبسط لمكونات جهاز تحكم .


I
V
عنصر القياس
Measurement element
التحويل الى التيار المستمر
converter element
عنصر مقارنة
Comparison element
عنصر ضبط البداية
Threshold setting
الدائرة المنطقية
Logic circuit
V
متممات مرحلية
step relays
جهاز تحكم
U
V
W
ملف فصل / توصيل
مفتاح التلامس
N
مرحلة أولى
مرحلة ثانية
مرحلة سادسة

شكل (٢٧ - ٢)

الشروط الواجب توافرها في اجهزة التحكم الآلي :

١ . - ان يكون تصميم الجهاز بسيط بقدر الامكان وأن يكون موثوقا به .

٢ - ان يتحمل البيئه الصناعية .

٣ - له المقدرة علي توصيل أو فصل مرحلة أو اكثر من المكثفات .

٤ - ان يكون سهل الضبط .

٥ - في حالة الاجهزه ذات المراحل المتعددة ، يجب ان يجهز لأي أحتمال باضافه مراحل تاليه .

بالنسبه للجهود المنخفضة تكون أقل قيمة لقدرة المرحلة ١٠ كيلوفار ، وأكبر قيمه لقدرة المرحلة ١٠٠ كيلو فار .

انواع أجهزه التحكم الآلي :

- أجهزه تحكم ذات حساسية للتغيير في قيمة القدرة غير الفعالة (فار) .
- أجهزه تحكم ذات حساسية للتغيير في قيمة التيار .
- أجهزة تحكم ذات حساسية للتغيير في قيمة الجهد .
- ساعات زمنية .

١ - أجهزة تحكم ذات حساسية للتغير في قيمة القدرة غير الفعاله (فار)

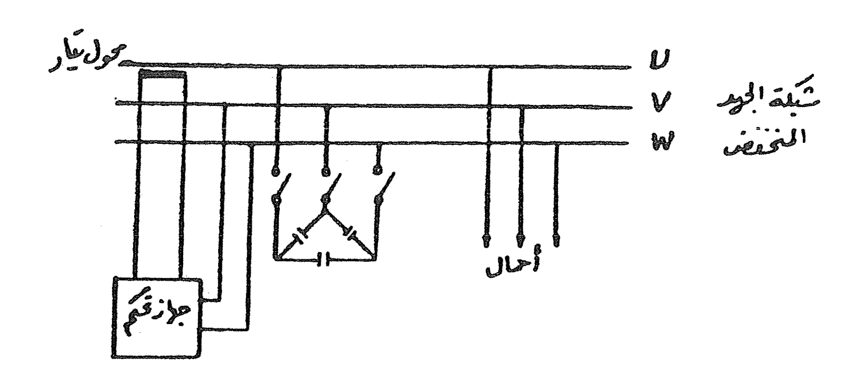
تحتوي بعض اجهزه التحكم ذات الحساسية للتغيير في قيمه القدرة غير الفعالة علي عنصر تحكم في معامل القدره .

يتم تغذيه جهاز التحكم بدوائر تيار وجهد كما في شكل (٢٨ - ٣) ويلاحظ الآتي :

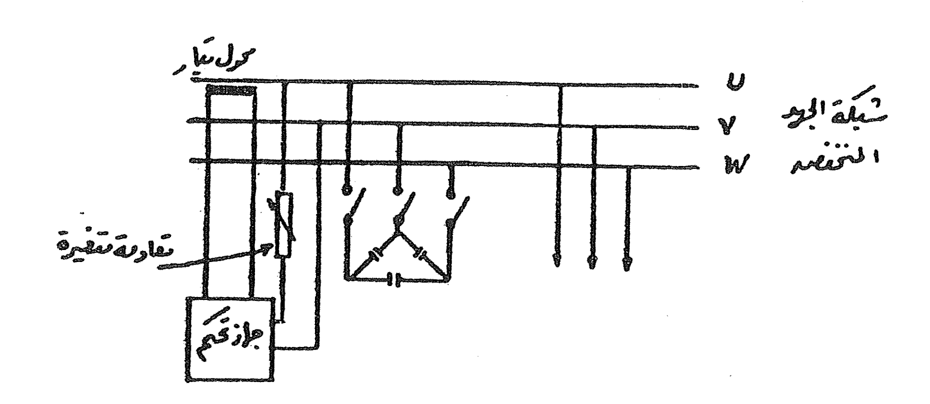
في حالة التوصيل علي شبكة الجهد المنخفض

في شكل (٢٨ - ٣) أ يتم توصيل التيار من طرفي الملف الثانوي لمحول التيار الموصل في الوجه (U) وطرفي الجهد بين الوجهيين (V,W) .

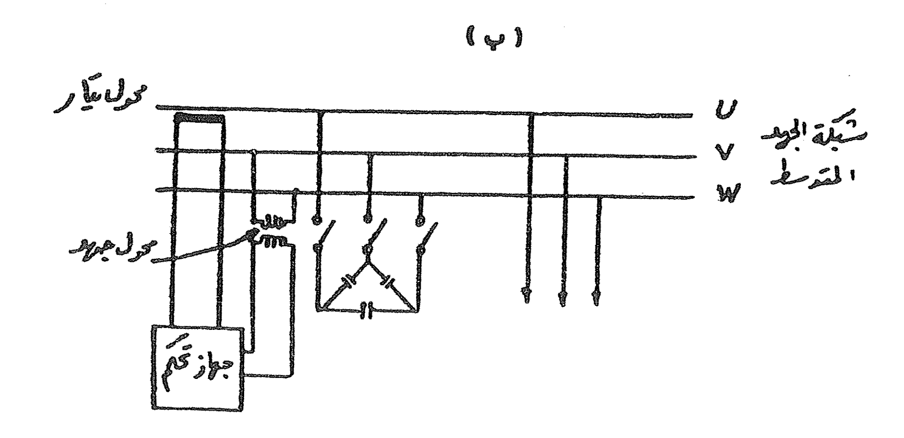
في شكل (٢٨ - ٣) ب يتم توصيل التيار من طرفي الملف الثانوي لمحول التيار الموصل في الوجه (U) وطرفي الجهد بين الوجهيين (U,V)


محول تيار
U
V
W
شبكة الجهد
المنخفض
أحمال
جهاز تحكم

(أ)


محول تيار
U
V
W
شبكة الجهد
المنخفض
مقاومة متغيرة
جهاز تحكم

(ب)


محول تيار
U
V
W
شبكة الجهد
المتوسط
محول جهد
جهاز تحكم

(ج)

شكل (٢٨ - ٣)

ولكن يشترط في هذه الحالة توصيل مقاومة متغيرة في دائرة الجهد للحصول علي الازاحة المرحلية (زاوية الوجه) اللازمة .

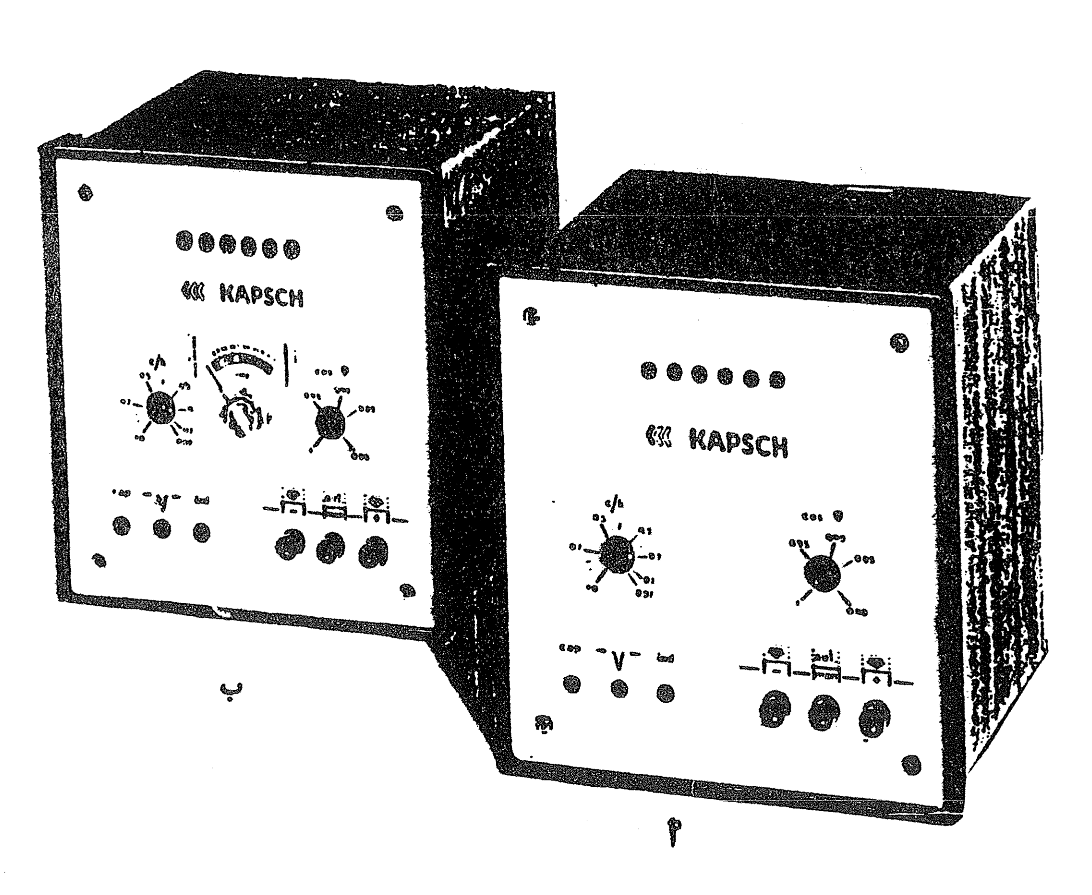
- في حالة التوصيل علي شبكة الجهد المتوسط

كما في شكل (٢٨ - ٣) ج يتم توصيل التيار من طرفي الملف الثانوي لمحول التيار الموصل علي الوجه (*U*) ، وطرفي الجهد بين الوجهين (*V,W*) من خلال محول جهد .

وقد كان جهاز التحكم في أول الامر من النوع التأثيري ذي القرص *(Induction Disc Type)* ، وهو مجهز بمحرك صغير ومفتاح تلامس زئبقي . ومع التطور الكبير في أجهزه التحكم والحماية ، أصبحت أجهزه التحكم للتغير في قيمه القدرة غير الفعاله من النوع الاستاتيكي ، صغير الحجم . ويوضح شكل (٢٩ - ٣) جهازي تحكم من النوع ذي الحساسية للتغيير في قيمة القدرة غير الفعاله ، بالاضافه إلي عنصر تحكم في معامل القدرة من النوع الاستاتيكي ، انتاج شركه *KAPSCH* النمساوية . كذلك يحتوي الجهاز في شكل (٢٩ -٣)ب علي مؤشر لبيان قيمة معامل قدرة .

وتقوم فكرة عمل جهاز التحكم علي اساس محكمة بالقيمة ($VI \sin \Phi$) حيث تمثل نقطه الصفر للجهاز (*Null Piont*) معامل قدرة يساوي الوحدة ، عندما تكون Φ تساوي صفرا وكذلك $\sin \Phi$. وعندما يكون معامل القدرة متأخراً ، فأن جهاز التحكم يسمح بتوصيل التيار الكهربي الي ملف تشغيل مفتاح التلامس لوحدة المكثفات (أو مرحلة المكثفات) ، بينما اذا كان معامل القدرة متقدما ، فان جهاز التحكم يقطع التيار الكهربي عن ملف تشغيل مفتاح التلامس لوحدة المكثفات (أو مرحلة المكثفات) ، وبهذا يتحكم الجهاز في قيمة القدرة غير الفعالة باضافة أو فصل مرحلة مكثفات.

يفضل ان يحتوي جهاز التحكم علي عنصر حماية ضد ضياع الجهد - بحيث اذا حدث ضياع جهد مصدر التغذية ، تنفصل جميع المكثفات عن طريق فصل مفتاح تلامس تشغيل مراحل المكثفات ، وبذلك يمكن تجنب مخاطر فجائية نتيجة تيار السحب (*Pull In Current*) عند رجوع جهد مصدر التغذيه .



شكل (٢٩ - ٣)

يمكن أستخدام جهاز تحكم واحد يغذي من أكثر من مصدر ، وذلك عن طريق محول تيار تجميع *Summation Current Transformer* يتم توصيله كما في شكل (٣٠ - ٣) وذلك بالنسبة لاستخدام ثلاثة مغذيات . فاذا كانت نسبة محولات التيار علي كل مغذي ٤٠٠ / ٥ فانه يتم توصيل محول تيار تجميع بنسبة ٥ + ٥ + ٥ / ٥ أمبير . وفي هذه الحالة يكون جهاز التحكم كما لو كان مغذي من محول تيار بنسبة ٤٠٠ + ٤٠٠ + ٤٠٠ / ٥ أي ١٢٠٠/ ٥ أمبير .

شكل (٣١ - ٣) يوضح دائرة كاملة لجهاز تحكم ذات حساسية للتغيير في قيمة القدرة غير الفعالة ، واتصاله بمراحل المكثفات من خلال مفاتيح تلامس .

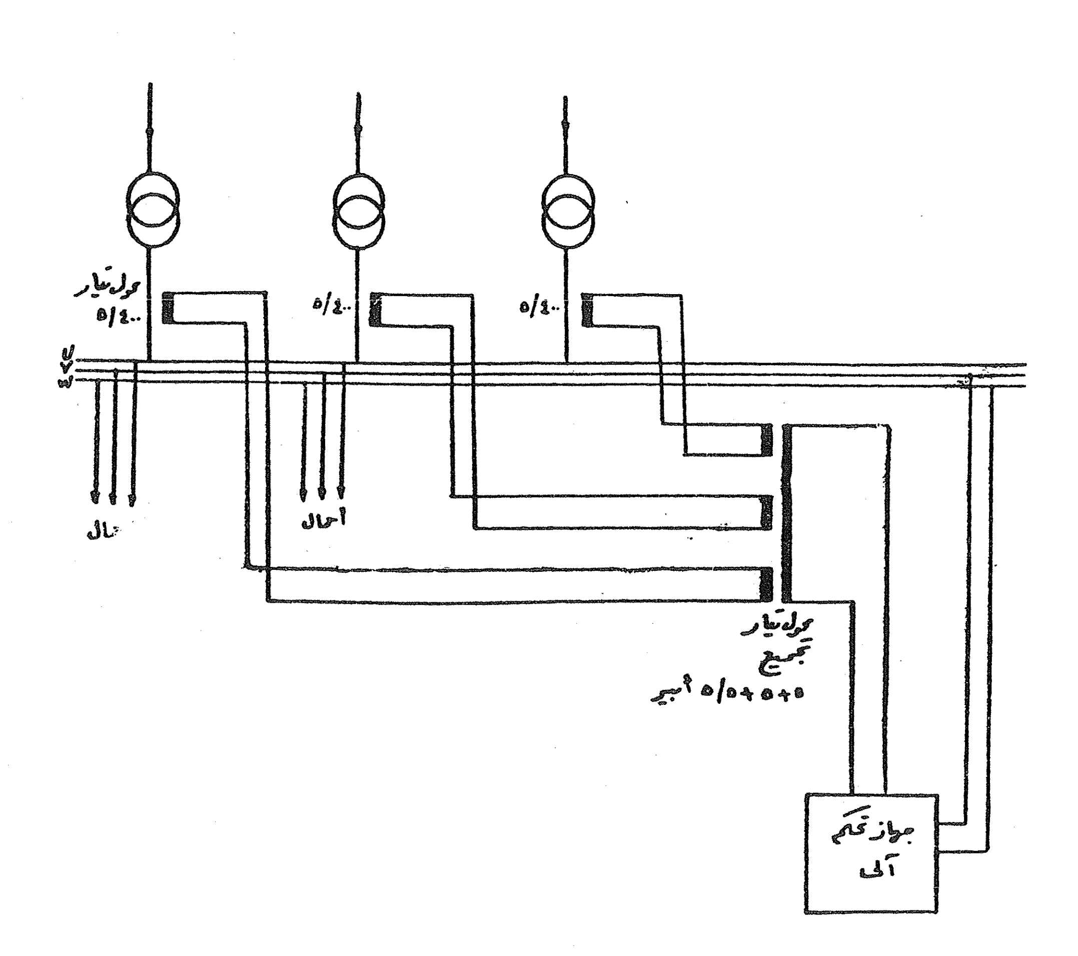
٢ - جهاز تحكم ذو حساسية للتغيير في قيمة التيار

يراعي في المصانع الصغيرة نسبيا تركيب وحدات مكثفات ذات قدرات صغيرة لتحسين معامل القدرة . حيث ان سعر جهاز تحكم ذو حساسية للتغيير في قيمة القدرة غير الفعالة يكون مرتفعا بالمقارنة بسعر وحدات المكثفات اللازمة في هذه الحالة ، لذلك يستخدم جهاز تحكم ذو حساسية للتغيير الذي يحدث في قيمة التيار ، ويستخدم الجهاز عادة للحصول علي مرحلة واحدة ، حيث لايمكن الحصول منه علي مراحل مختلفة ،وعلي ذلك يفضل استخدامه لاحمال مستقرة طوال اليوم ، اما اذا كانت أحمال المصنع متغيرة ، فيمكن اضافة جهاز ذي تأخير زمني مناسب مع جهاز التحكم لضمان عمل المكثفات بنجاح . ومن عيوب هذا الجهاز أن معامل القدرة يمكن أن يكون متقدما لفترات ، حيث يتم ضبط جهاز التحكم عند نسبة من تيار التحميل للمصنع ، مما يستدعي قياس أحمال المصنع بصفة دورية مستمرة ، للتأكد من أن ضبط جهاز التحكم سليم ، أو يلزم اعادة ضبطه ، يجب تغذية جهاز التحكم من الملف الثانوي لمحول تيار كما في الشكل (٣٢ - ٣) .

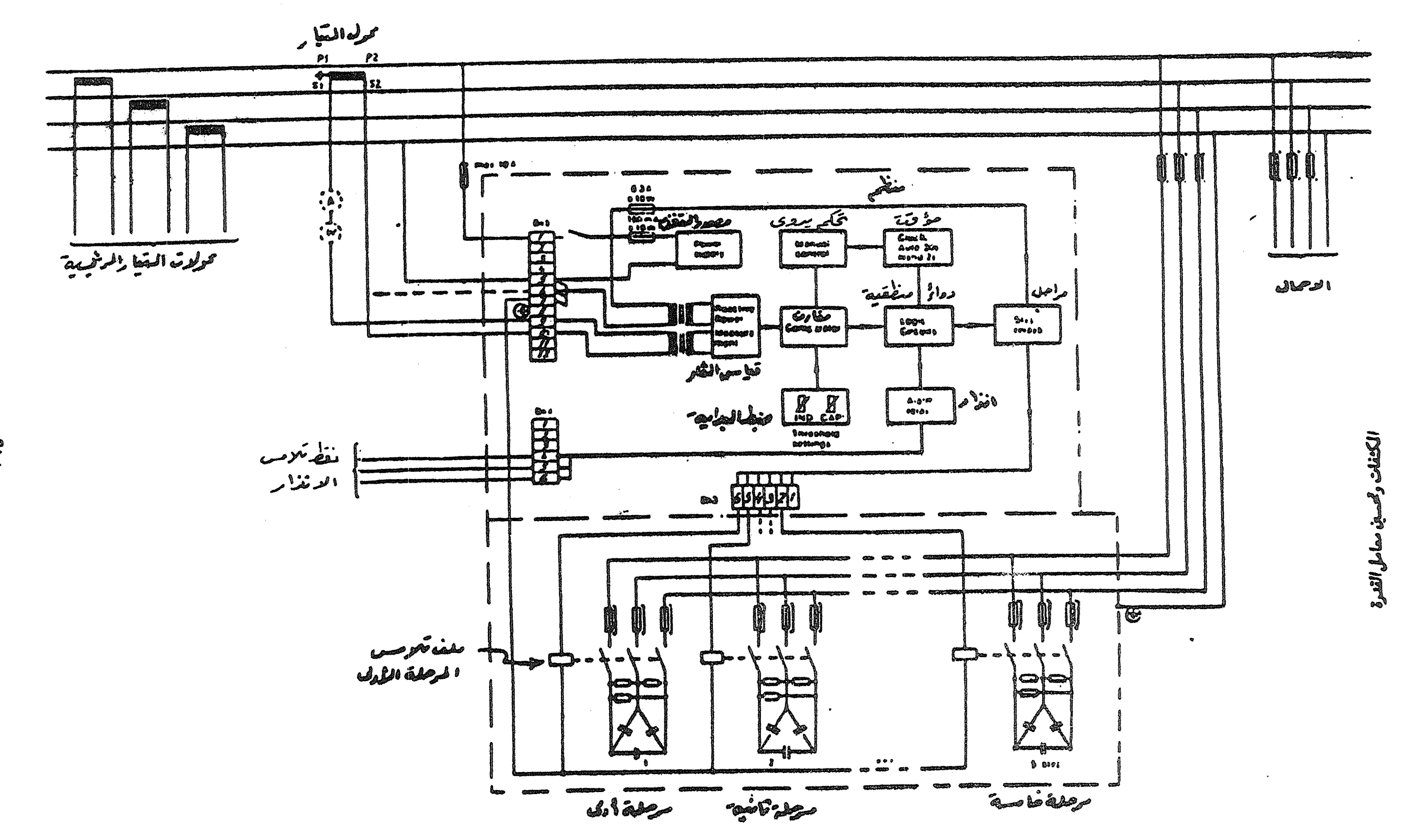
أحيانا يستعمل جهاز تحكم او اكثر للتحكم في مصفوفة مكثفات واحدة ، فمن الشائع استخدام أجهزة تحكم بالتغيير في القدرة غير الفعالة ، مع جهاز تحكم بالتغيير في التيار مع جهاز تحكم لمعامل القدرة .

للتحكم في مكثفات الجهد المتوسط يستخدم جهاز تحكم ذو حساسية للتغيير في معامل القدرة .

شكلي (٣٣ - ٣) أ ، ب توضح وحدة مكثفات بقدرة ٦٠ كيلو ڤار - ٣٨٠ فولت -


محول تيار
٤٠٠/٥
٤٠٠/٥
٤٠٠/٥
أحمال
محول تيار
تجميع
٥+٥+٥/٥ أمبير
جهاز تحكم
آلي

شكل (٢٠ - ٢)

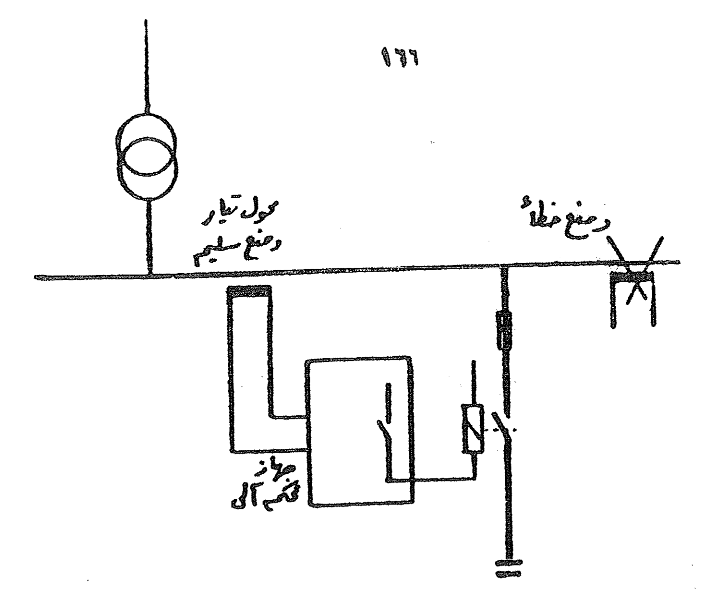

محول التيار
P1
P2
S1
S2
محولات التيار المرئية
منظم
مصدر القدرة
تحكم يدوي
مؤقتة
دوائر منطقية
مراحل
قياس القدرة
ضبط البداية
IND CAP
انذار
نقط تلامس الانذار
ملف تلامس المرحلة الأولى
مرحلة أولى
مرحلة ثانية
مرحلة خامسة
الأحمال

شكل (٣١ - ٣)

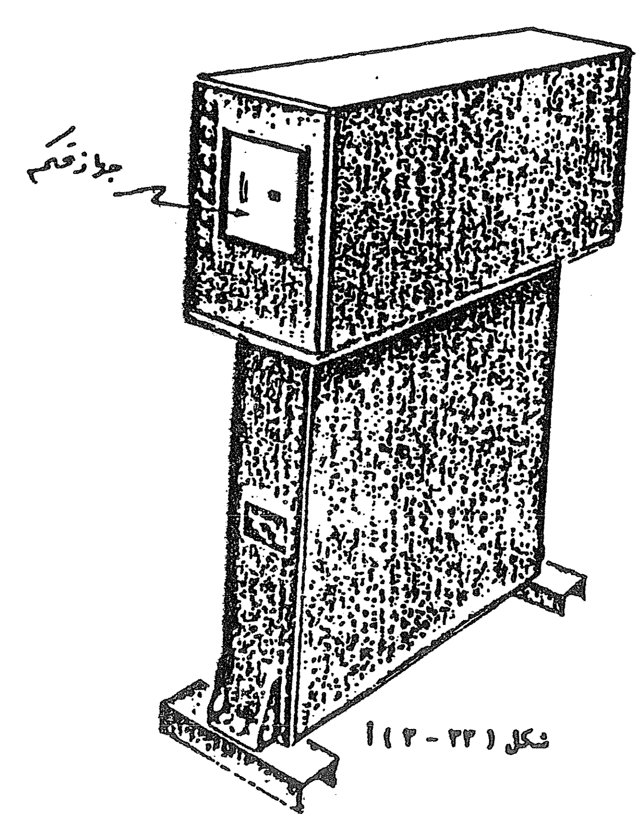
تحتوي علي جهاز تحكم - طراز *ACECLOR* انتاج بلجيكي .

شكل (٣٤ - ٣) يوضح مصفوفه مكثفات تتكون من عدد ٨ مراحل كل مرحلة ٦٠ كيلو ڤار - ٣٨٠ فولت - لها جهاز تحكم طراز*ACECLOR* انتاج بلجيكي .

شكل (٣٥ - ٣) يوضح الشكل النهائي لمجموعة مكثفات موضوعه في صندوق معدني ، ذي مراحل متعددة ، تحتوي علي جهاز تحكم انتاج وستنجهاوس .



شكل (٣٢ - ٣)

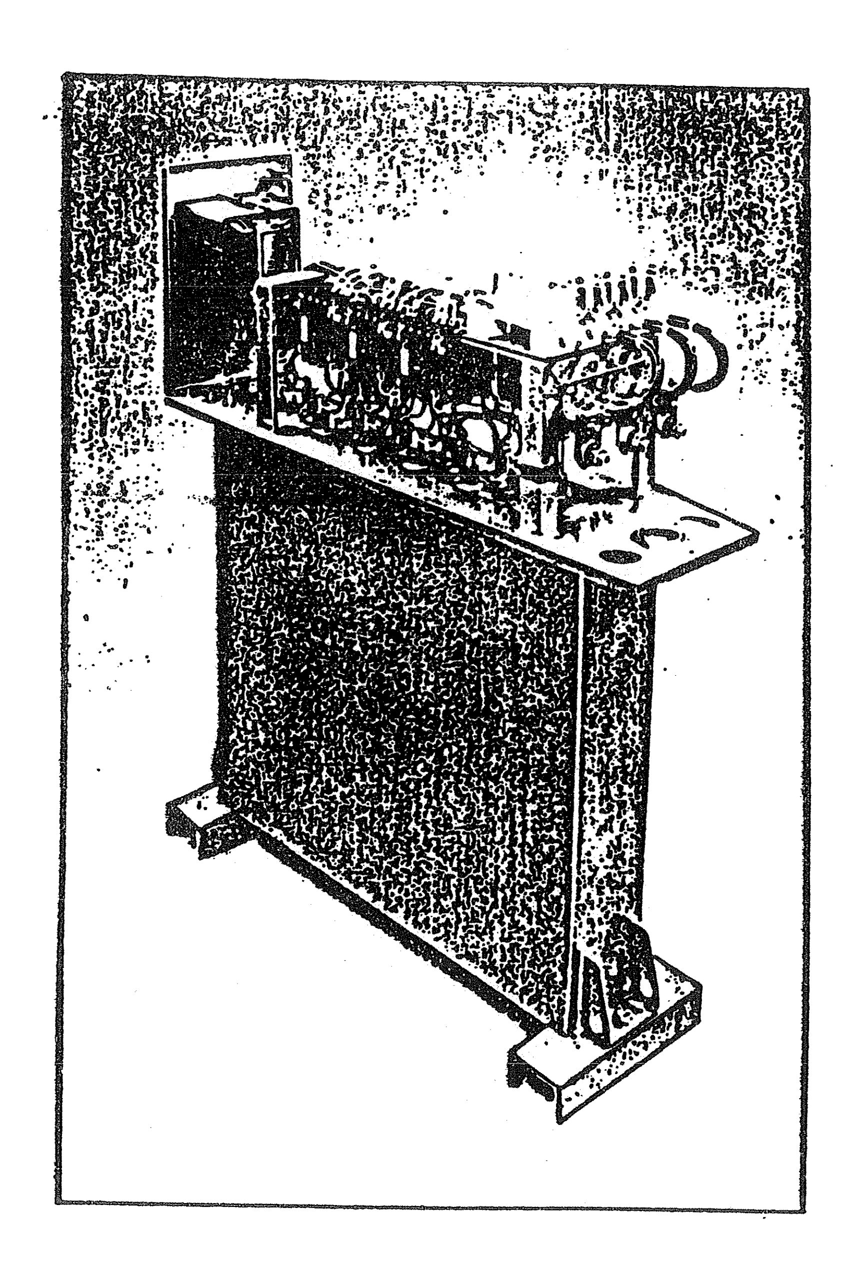


شكل (٣٢ - ٣) أ

وحده مكثف آليه -

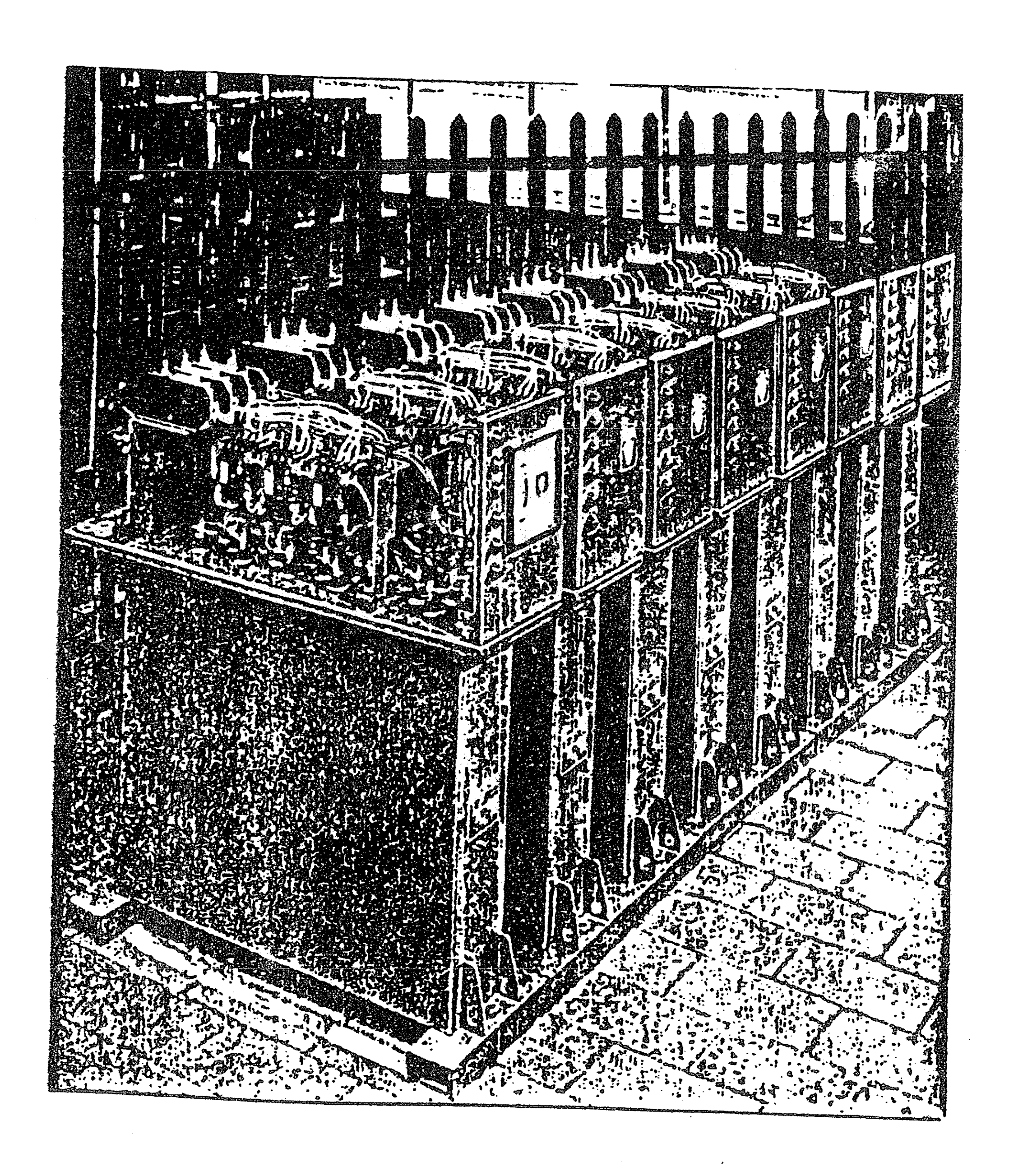
٦٠ ك . فار - ٣٨٠ فولت

ذو جهاز تحكم معامل القدرة طراز ACECLOR



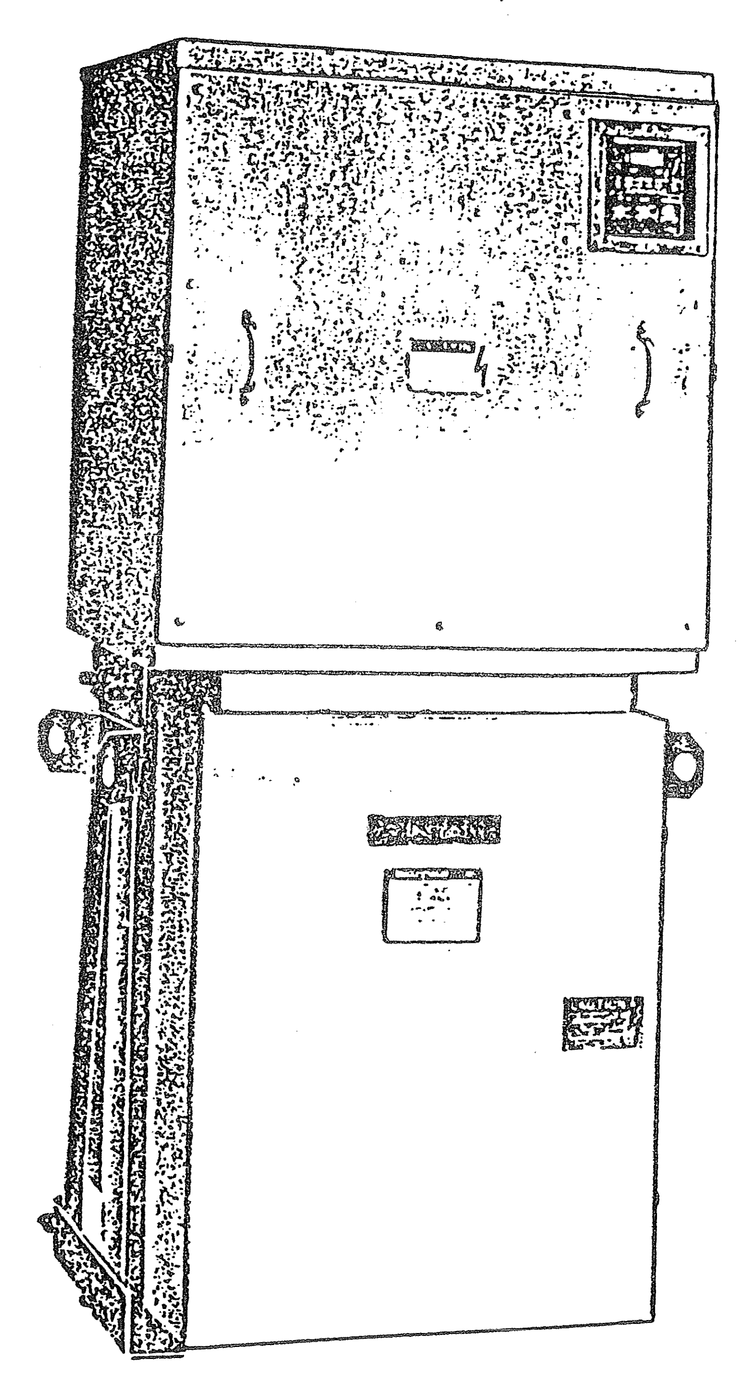
شكل (٢٢ - ٣) ب

وحدة مكثف - آليه ٦ ك فار - ٢٨ فولت - بدون غطاء - طراز ACECLOR



شكل (٣٤ - ٣)

مصفوفه مكثفات تتكون من عدد ٨ مراحل - كل مرحلة ٦٠ ك . ڤار - ٣٨٠ ڤولت ذو تحكم آلي - بدون غطاء - طراز ACECLOR



شكل (٣٥ - ٢)

مجموعة مكثفات محتواه في صندوق معدني ذات مراحل متعدده - تحتوي على جهاز تحكم انتاج وستنجهاوس

الباب الرابع

١ - ٤ موقع تركيب المكثفات *Capacitor Location*

الوضع الامثل لتركيب المكثفات أن تكون أقرب للحمل بقدر الامكان ، وذلك للاستفادة بأكبر فائدة من حيث تخفيف أحمال الكابلات ، ومحولات القدرة ، وتقليل الفقد في الشبكة الكهربائية . ويتم تركيب المكثفات بالقرب من الحمل سواء كان الحمل علي شبكة الجهد المنخفض أو المتوسط أو العالي .

ويفضل عادة تركيب المكثفات علي شبكة الجهد المنخفض ، واذا تعذر تركيبها لعدم وجود مكان مثلا، فانه يمكن تركيب المكثفات علي شبكة الجهد المتوسط . وفي كلتا الحالتين يجب أن تركب المكثفات بعد دوائر القياس ، حتي يمكن الاستفادة من انخفاض التيار بدوائر القياس (العداد)، حيث أن عملية تحسين المكثفات تتم عند النقطة المركبة عليها وما قبلها .

شكل (١ - ٤) يمثل جزء من شبكة كهرباء تتكون من وحدة توليد - محطة خفض - محطة توزيع فرعية - حمل .

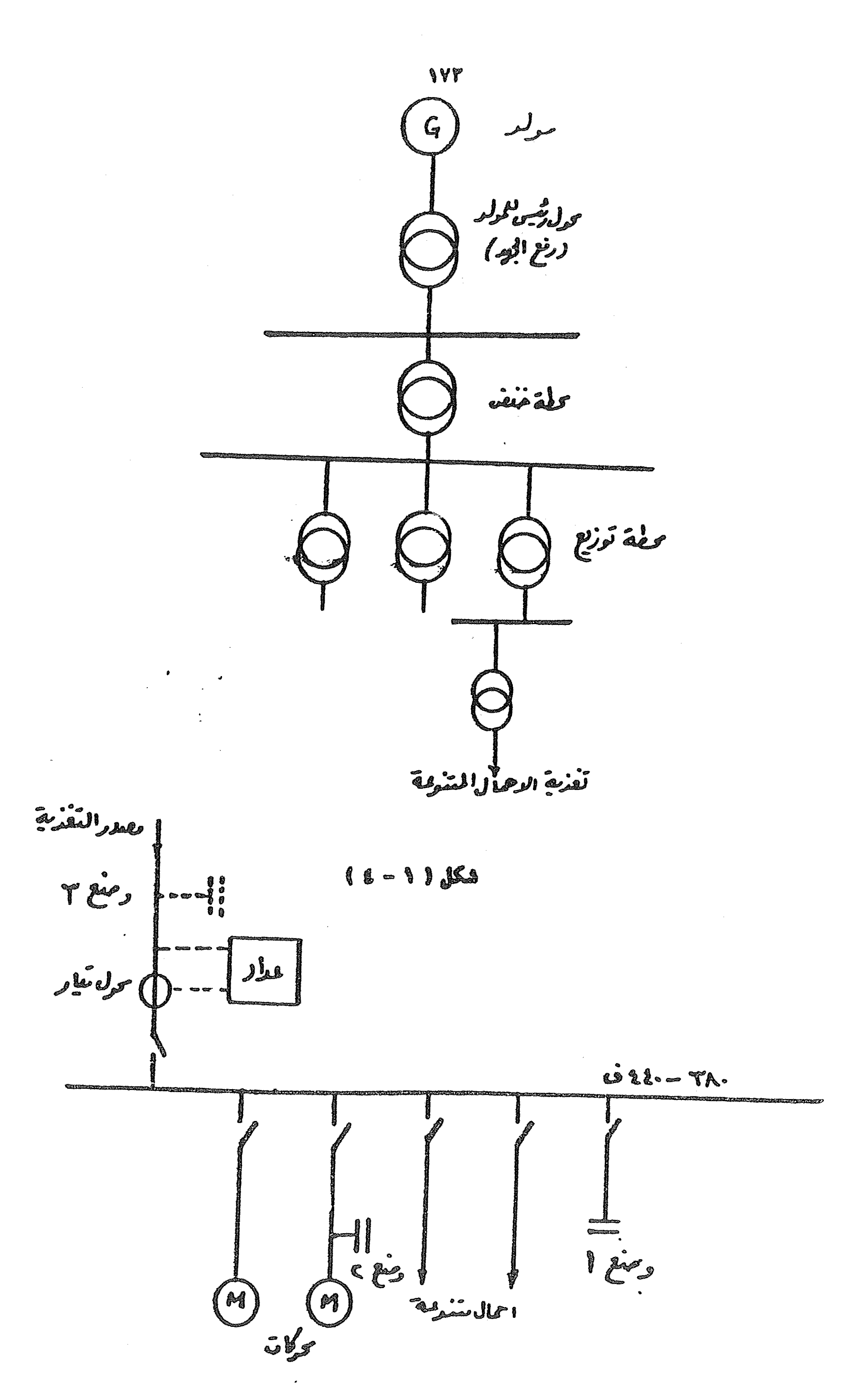
شبكة الجهد المنخفض *Low Voltage Network*

شكل (٢ - ٤) يمثل شبكة مصنع صغير يغذي علي الجهد المنخفض ٣٨٠ - ٤٤٠ فولت ذو قدرة ٢٠٠ ك . ف . أ تقريبا .

الاماكن المناسبة لتركيب المكثفات :

- وضع (١) تركيب المكثفات علي قضبان ٣٨٠ - ٤٤٠ فولت مباشرة .
- وضع (٢) تركيب المكثفات علي محرك أو مجموعة محركات .

يلاحظ أنه لايتم تركيب المكثفات كما في وضع (٣) أي قبل أماكن تركيب أجهزة القياس (العدادات) ، حيث أن تركيب المكثفات لايؤثر علي قراءة الاستهلاك الذي تبينه العدادات ، التي سوف تقرأ نفس القدرة بعد تركيب المكثفات ، كما كان قبل التركيب وبالتالي فان تكلفة استهلاك الكهرباء في الحمل سوف لاتتأثر بتركيب المكثفات .


مولد
محول رئيسي للمولد
(رفع الجهد)
محطة تخفيض
محطة توزيع
تغذية الاحمال المتنوعة
مصدر التغذية
وضع ٣
عداد
محول تيار
٣٨٠ - ٤٤٠ ف
وضع ٢
احمال متنوعة
وضع ١
محركات

شكل (١ - ٤)

شكل (٢ - ٤)

شبكة الجهد المتوسط *Medium Voltage Network*

شكل (٣ - ٤) يمثل شبكة مصنع متوسط القدرة يغذي من شبكة الجهد المتوسط (٦ - ١٥ ك . ف) ، ويتم توزيع أحمال المصنع علي شبكة الجهد المنخفض من خلال محول قدرة ١٠٠٠ ك . ف . أ .ويعمل المصنع حوالي ٤٠ - ٦٠ ساعة كل أسبوع .

وفي هذه الحالة يحتاج المصنع الي حوالي قدرة غير فعالة ٥٠٠ ك . ڤار ويلزم استخدام دوائر تحكم لتشغيل وفصل المكثفات .

الاماكن المناسبه لتركيب المكثفات :

- وضع (١) يمثل تركيب مكثفات علي شبكة الجهد المتوسط ، وفي هذه الحالة يكون سعر المكثفات أقل من سعرها في حالة التركيب علي شبكة الجهد المنخفض .

- وضع (٢) يمثل تركيب مكثفات علي قضبان ٣٨٠ - ٤٤٠ ڤولت مباشرة ، وفي هذه الحالة يتم تحسين معامل القدرة لكل الاحمال المركبة علي قضبان الجهد المنخفض .

ويقل التحميل علي كابلات التغذية من الجهد المتوسط (٦ - ١٥ ك . ف) وعلي محول القدره من هذا الجهد إلي (٣٨٠ - ٤٤٠ ڤولت) .

- وضع (٣) يمثل تركيب مكثفات علي القضبان الفرعية للمغذي رقم ٣ مباشرة ، وفي هذه الحالة يتم تحسين معامل القدرة لهذه القضبان فقط ، فيقل التحميل علي كابل مغذي رقم ٣ ، وعلي محول القدرة (١٠٠٠ ك . ف . أ) ، وعلي كابل التغذية للجهد المتوسط (٦ - ١٥ ك . ف) .

- وضع (٤) يمثل تركيب مكثفات علي محرك بعينه ، وفي هذه الحالة يتم تحسين معامل القدرة للمحرك فقط ، ويقل التحميل علي كابلات المحرك ، وعلي محول القدرة (١٠٠٠ ك . ف . أ) . وعلي كابل التغذية للجهد المتوسط (٦ - ١٥ ك.ف).في حالة استخدام وضع ٢ أو ٣ ، وكانت هناك مكثفات مركبة مع المحركات كوحدة كاملة ، فإن قيمة المكثفات المستخدمة سوف تكون أقل ، وتكون التكاليف بالتالي أقل.

شكل (٤ - ٤) يمثل شبكة مصنع كبير ذو قدرة كبيرة - يتكون المصنع من أربع نقاط لمحولات توزيع (A,B,C,D) لتخفيض الجهد الي ٣٨٠ - ٤٤٠ فولت ، وذلك لتغذيه احمال المصنع باماكن مختلفة ويعمل المصنع لمدة خمسة أيام كل أسبوع حوالي ٦ - ٨ساعة

الاماكن المناسبة لتركيب المكثفات :

- وضع (١) تركيب المكثفات علي شبكة الجهد المتوسط - وهو حل غير اقتصادي نتيجة كبر الشبكة الكهربائية بالمصنع - أربعه محطات توزيع - حيث أن مفاقيد النحاس ستكون مرتفعة نتيجة كثره الكابلات ومحولات القدرة .

- أوضاع (٢) ، (٣) ، (٤) كما ذكرت في الحالة السابقة بشكل (٣ - ٤) ، لمعرفه قدرة المكثفات لكل وضع يجب أخذ قياسات لكل من : الحمل - معامل القدرة - عند كل وضع - ثم يتم عمل حسابات لقيمة قدرة المكثفات .

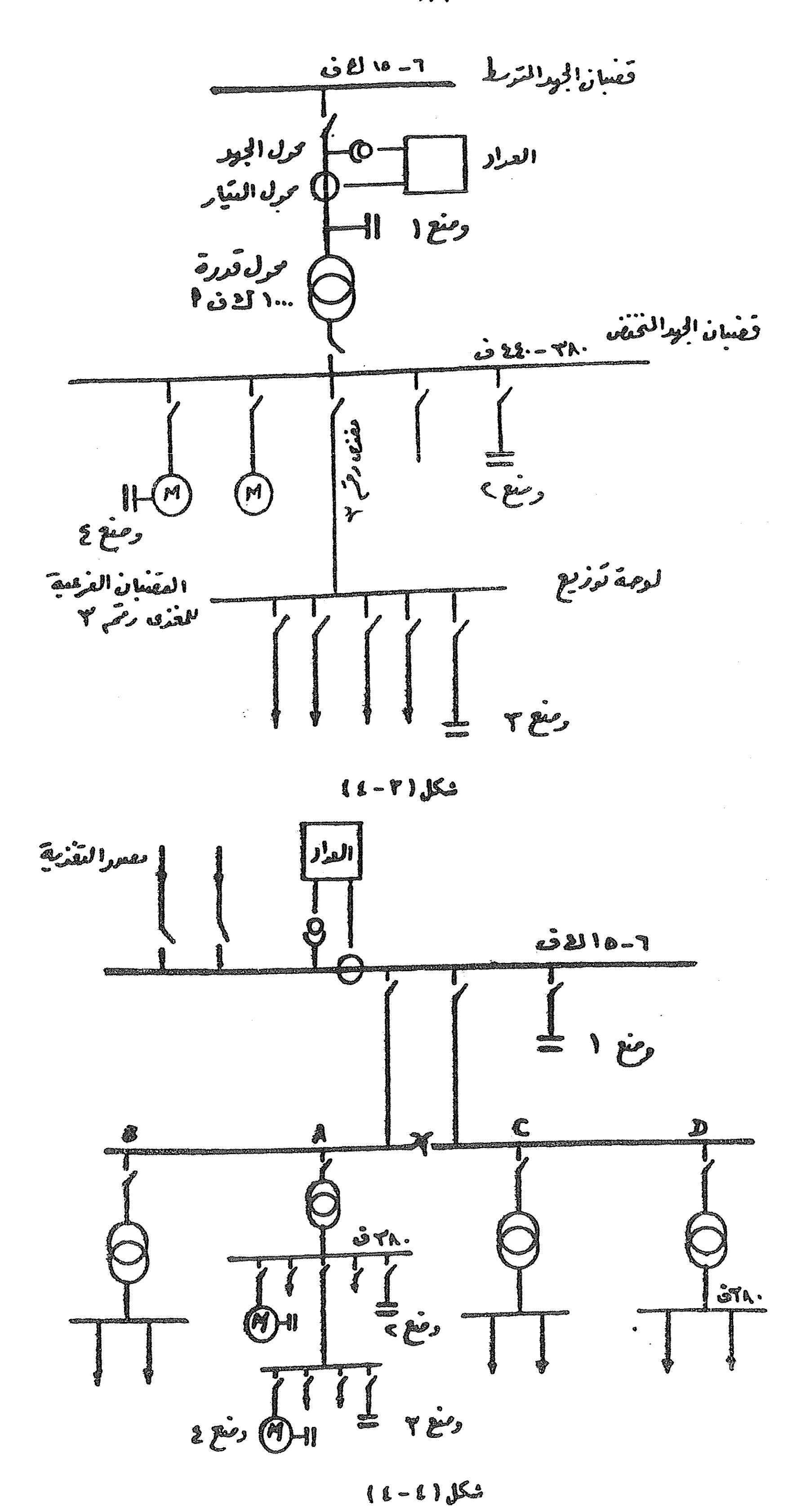
يتم تركيب دوائر تحكم لمكثفات الجهد المنخفض للتشغيل والفصل .

شكل (٥ - ٤) يمثل شبكة شركة صناعة كبري تغذي عن طريق خطين جهد ٣٣ ك . ف وتتكون الشبكة الكهربائية من محولين قدرة ٣٣ / ١١ ك . ف ويتم تغذية جزء من أحمال الشركة علي جهد ١١ ك . ف : محركات - فرن - مقوم تيار ..

ويوجد بشبكة الشركة أربع محطات توزيع (A,B,C,D) تغذي أحمال الشركة علي جهد ٣٨٠ فولت من خلال محولات قدرة ١١ ك . ف / ٣٨٠ فولت .

الاحمال ذات الطبيعة المتأرجحة مثل درفلة المعادن - أفران القوس الكهربى وهي تتغير عادة من ١٠ م . ف . أ حتي ٥٠٠م . ف . أ وتغذي علي جهود لاتقل عن ٣٠ - ٣٦ ك . ف، أما الاحمال العالية جداً مثل انشاءات الكيمياء الكهربائية والحرارة الكهربائية ، فهي تحتاج الي شبكة كهربائية جهد ٢٠٠ - ٣٠٠ ك .ف تخفض الي ٦٠ - ٦٦ ك . ف أو ٣٠ - ٣٦ ك.ف ثم تخفيض الي الجهد المتوسط ١١ ك . ف .

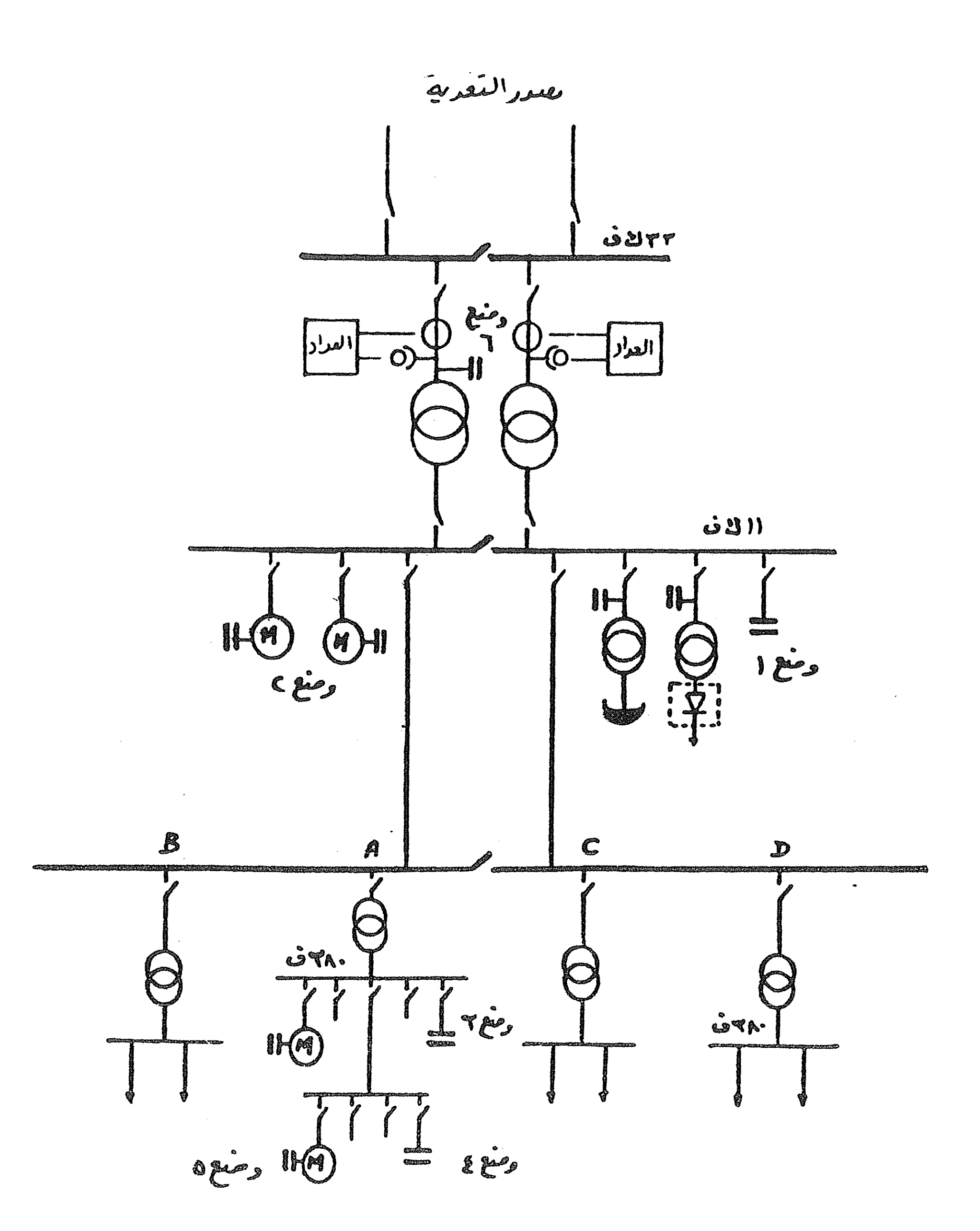
في هذه الحالة يفضل توصيل مكثفات كما في وضع (١) مزودة بتحكم يدوي - توصل أثناء تشغيل المصنع فقط - ولايحتاج الأمر الي مكثفات في أي أوضاع أخري ، وتكون التكلفة في هذه الحالة منخفضة .



٦ - ١٥ ك ف
قضبان الجهد المتوسط
محول الجهد
العداد
محول التيار
وضع ١
محول قدرة
١٠٠٠ ك ف أ
قضبان الجهد المنخفض
٣٨٠ - ٤٤٠ ف
وضع ٢
وضع ٤
لوحة توزيع
القضبان الفرعية
للمغذي رقم ٣
وضع ٣
العداد
مصدر التغذية
٦-١٥ ك ف
وضع ١
B
A
C
D
٣٨٠ ف
وضع ٢
وضع ٣
وضع ٤
٣٨٠ ف

شكل (٣-٤)

شكل (٤-٤)



مصدر التغذية
٣٣ك ف
وضع ٦
العداد
العداد
١١ك ف
وضع ١
وضع ٢
B
A
C
D
٣٨٠ف
وضع ٣
٣٨٠ف
وضع ٤
وضع ٥

شكل (٥ - ٤)

- وضع (٢) يمثل تركيب مكثفات علي الملف الابتدائى لمحول الفرن - أو علي الملف الابتدائى لقوم التيار (تيار متردد / تيار مستمر) لتغذية ماكينة درفلة معادن . أو عمليات الكيمياء الكهربائية - أو مع محرك يعمل علي الجهد المتوسط ، أوضاع (٣) ، (٤) ، (٥) لها نفس التوضيح كما في شكل (٣ - ٤) ، (٤ - ٤).

- وضع (٦) يمثل تركيب المكثفات علي الجهد المرتفع ٣٣ ك . ف ، وفي هذه الحالة يكون سعر المكثفات ودوائر التحكم منخفضا نسبيا .

ملاحظات هامة :

١ - بالنسبة للمصانع التي تغذي شبكتها الكهربائية من شبكة الجهد العالي أو المتوسط، بينما تغذي احمالها من شبكة الجهد المنخفض ، الي جانب أنها لاتعمل بصفة مستمرة طوال اليوم ، فأنه يفضل في هذه الحالة استخدام مكثفات جهد منخفض لتحسين معامل القدرة . المفاتيح الكهربائية ومستلزماتها للجهد المنخفض تكون تكاليفها منخفضه جدا عنها في حالة الجهد المرتفع ، وهي متوفرة للقدرات المنخفضة حتي ١٠٠ ك . ڤار ، ويمكن استخدامها كمراحل.

٢ - مكثفات الجهد العالي والمتوسط تستخدم لتحسين معامل القدرة لجميع الاحمال المغذاة علي شبكة الجهد العالي والمتوسط مباشرة مثل المحركات التأثيرية الكبيرة - أفران القوس - مقوم تيار (تيار متردد / تيار مستمر) ...

٣ - يؤدي توزيع تركيب مكثفات الجهد المنخفض علي أكثر من موضع بالمصنع إلي رفع تكاليف المكثفات والانشاءات ، ويمكن التحكم في التكاليف بعمل توزيع خاص لاماكن تركيب المكثفات أو نظام تشغيل مناسب ، كما يمكن تركيب مكثفات مع المحركات مباشرة بحيث تقل تكلفة دوائر التحكم للمكثفات ، وبالتالي تقل التكلفة الكلية .

٤ - اذا كانت أحمال مصنع علي الجهد المنخفض تغذي من أكثر من محطة توزيع - فان التحكم الآلي الموضعي عند كل محطة توزيع يعتبر أقل تكلفة وأفضل تشغيلا من التحكم عن طريق التركيب علي المغذيات الرئيسية للمصنع

٥ - لتقليل التكاليف علي قدر الامكان يجب أن تعمل المفاتيح الكهربائية المستخدمة للتحكم في المكثفات عند أقرب قيمة للحمل السعوي يمكن تحقيق هذا بسهولة في

مفاتيح الجهد المنخفض (مفاتيح التلامس) كذلك يمكن أن تتحقق في الجهود العالية اذا كانت قدرة المرحلة تصل الي حوالي ٥م . ڤار ، بينمابكون سعر المفاتيح الكهربائيه لمكثفات الجهود العالية ، ذات المرحلة التي تصل قدرتها الي ٥٠٠ ك . ڤار ، أعلي بكثير من سعر المكثفات نفسها .

٦ - لتحسين معامل القدرة لمصانع صناعية تعمل طوال اليوم ، ولايوجد بها أحمال ذات طبيعة خاصة . في هذه الحالة يمكن توصيل المكثفات علي شبكة الجهد العالي بها علي أن يتم التوصيل بالتحكم اليدوي من خلال قاطع تيار . التكاليف ستكون منخفضة ، حيث تعمل المفاتيح ومستلزماتها عند قيمة قريبة من أقصي قدرة سعوية.

٢ -٤ دراسة بعض مشكلات تشغيل المكثفات

مقدمه

عند تشغيل وحدة مكثفات (أو وحدات) مكونة من قاطع تيار - مصهرات - مكثفات علي شبكة كهربائية فانه يجب دراسة مشكلات تشغيلها والتي تتلخص في : -

١ - عند فصل قاطع التيار لدائرة المكثف يحدث ارتفاع في الجهد .

٢ - عند توصيل المكثفات ينشأ تيار شحن كبير جدا .

وقبل مناقشة هذه المشكلات يجب أن نعرف فكرة مبسطة عن قواطع التيار .

قواطع التيار ذات الجهود العالية تصمم أساسا لقطع تيار القصر الكبير جداً ، في وقت قصير بقدر الامكان . وكذلك تتم عمليات الفصل الروتينية بدون أو بأقل الأضرار . عند فتح قاطع التيار يبدأ في اخماد القوس بين أقطاب القاطع . إن اخماد القوس بين أقطاب قاطع تيار ثلاثي الأوجه لايحدث في نفس اللحظة في الأوجة الثلاثة. ولكن يتم علي التوالي ، معتمدا علي أي الأوجه به تيار يساوي صفر أولا . وعلي هذا فان الاجهادات (*Stresses*) علي الأوجه الثلاثة تختلف حسب أقصي قيمة للجهد . ومدي التيار المار . عموما أول قطب يفتح يتعرض غالبا لاجهادعالي نتيجة زيادة الجهد المستعاد للقطب (*Recovery Voltage*) بين تلامسات قاطع التيار بعد القطع مباشرة .

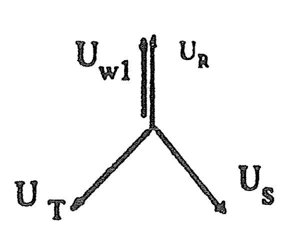
أعلي قيمة لجهد الحمل ، والتي عندها يجب التغلب علي إجهاد العزل ، في الحيز العازل، تحدث بعـد قطع التيار مباشرة ، وقبل تناقص جهد اعادة الاشعال المفاجئة ، ويسمي هذا الجهد بجهد إعادة الاشعال (*Restriking Voltage*) ويعرف كالآتي :

$$e_m = U_{w1} \quad \gamma \quad \sqrt{2}$$

حيث γ ثابت عددي (١,٢ - ١,٤) .

U_{w1} الجهد المستعاد عند أول قطب يفتح بعد قطع التيار ، وتناقص جهد اعادة الاشعال المفاجئ .

U_R , U_S , U_T جهود الأوجه الثلاثة .



اذا كان اجهاد العزل (Dielectric Stresses) في الحيز بين قطبي القاطع لايتم بمعدل أسرع من معدل الزيادة في جهد الاستعادة العابر ، فانه يحدث انهيار يتسبب في اعاده بناء القوس ، أما في حالة ما إذا كان اجهاد العزل للحيز بين قطبي القاطع ينشأ بمعدل أسرع من معدل الزيادة في جهد الاستعادة العابر ، فان القاطع سيقطع التيار بنجاح . (اجهاد العزل يعتمد علي تصميم القاطع الفعلي ، بينما يعتمد جهد الاستعادة العابر علي ثوابت الدائرة الكهربية ، ونوع أداء التشغيل).

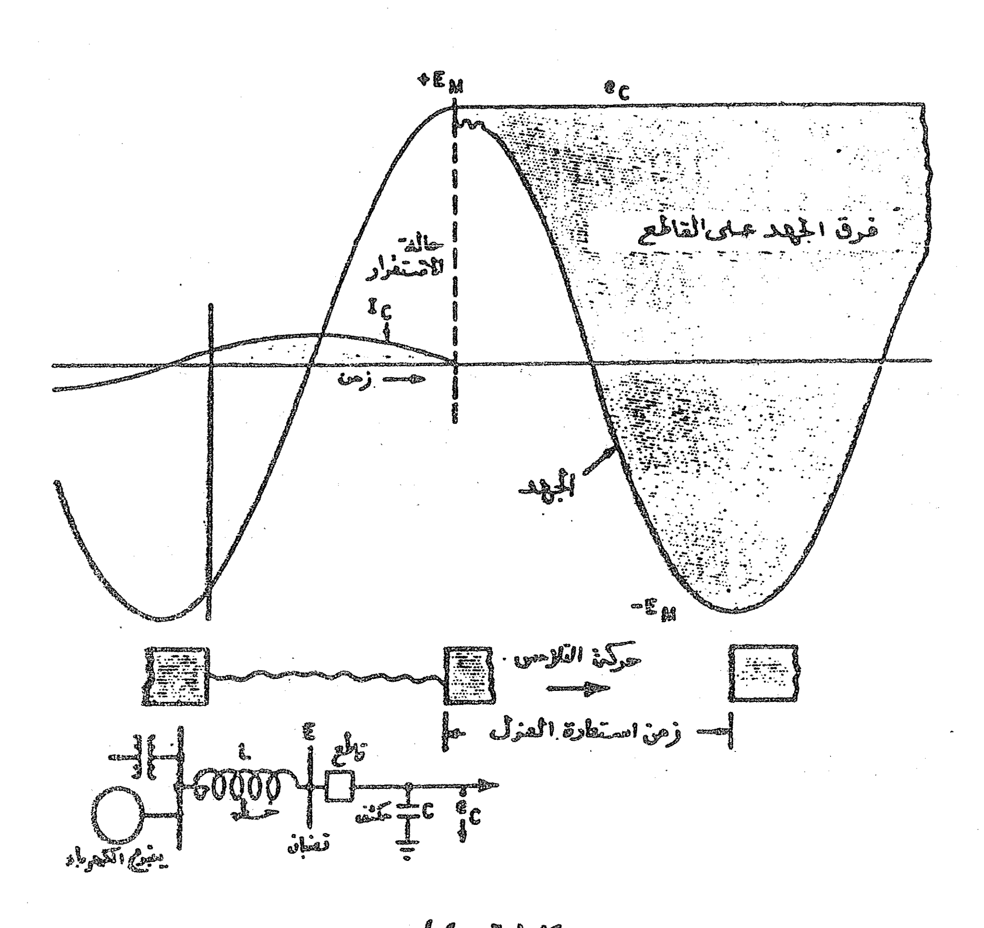
في حالة تشغيل أحمال سعوية تظهر جهود عالية في الحيز بين طرفي قطبى القاطع ، ممايتسبب فى اعادة اشعال القوس ، بعد ان يكون بدأ يخمد فعلا . اذ احدث انهيار في الحيز بين التلامسين خلال ربع دورة من قيمة الدورة الاساسية بعد بداية اخماد القوس ، فان هذه الظاهرة يطلق عليها أعادة الاشعال (Reignition) ، بينما اذا حدث الانهيار بعد ربع دورة من اخماد القوس ، فان هذه الظاهرة يطلق عليها (Restrike) إعادة الاختراق ، سنناقش الآن بعض الافكار عن مشكلات المكثفات .

اولا : حدوث ارتفاع في الجهد Generation Of Over Voltages

عند فصل المكثفات عن الشبكة الكهربائية فان القاطع سوف يفتح عند تيار يساوي صفرا. عند هذه النقطة يكون الجهد المتبقي علي طرفي المكثف عبارة عن أقصى قيمة للمصدر E_m ، ثم يقل ببطئ .

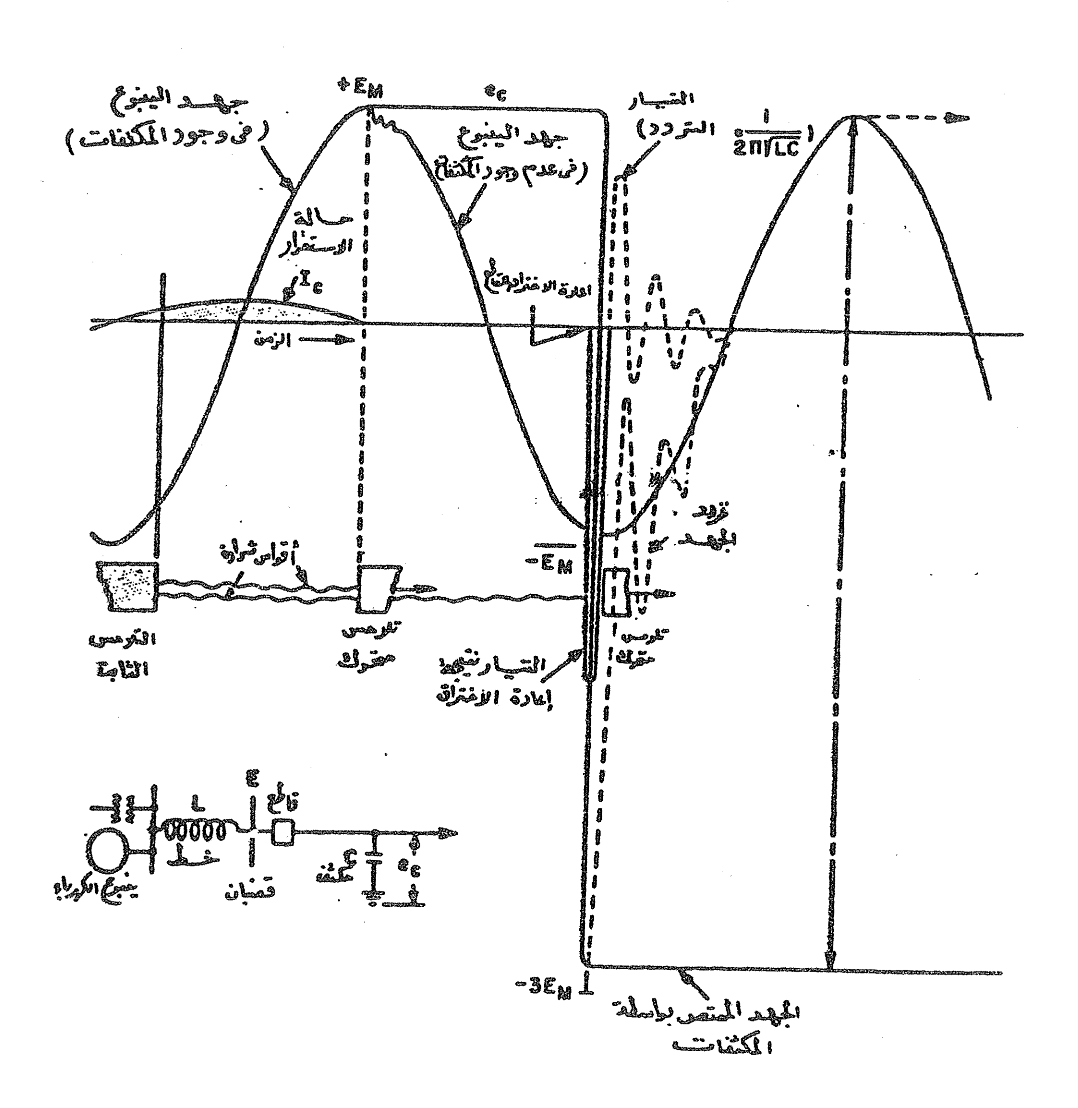
بالنسبة للقاطع فأنه يمكن أن يحدث اعادة اشعال (Reignition) وهو يتمثل في التيار المار بعد اخماد القوس الكهربى ، خلال ربع دورة من قيمة الدورة الأساسية . وهذا التيار المنشأ لايحدث عنه ارتفاع في الجهد ، ولايحدث منه أي خسائر في القاطع أو المعدات المساعدة، أو يحد ث للقاطع اعادة اختراق (Restrike) ، وهو يتمثل في التيار المار بعد اخماد القوس الكهربى بعد ربع دورة من اخماد القوس . هذا التيار يمكن أن يحدث ارتفاع في الجهد ، وينتج عنه مخاطر علي المعدات .

يمثل شكل (٦- ٤) مكثف(C) متصل علي شبكة كهربائية من خلال خط (L)



$+E_M$
e_C
فرق الجهد على القاطع
حالة الاستقرار
I_C
زمن
الجهد
$-E_M$
حركة التلامس
زمن استعادة العزل
قاطع
مكثف
قضبان

شكل (٦ - ٤)



شكل (٧ - ٤)

وقاطع تيار .

نجد في الشكل أن الجهد بين قطبي القاطع المفتوح يساوي الفرق بين جهد المصدر وجهد المكثف . فالمكثف يختزن القيمة العظمى للجهد ($e_c = E_m$) ، بعد نصف دورة (١٠ ميكروثانية عند تردد ٥٠ هرتز) فان الجهد علي قطب القاطع جهة المصدر يكون أقصي قيمة باشارةسالبة ($-E_m$) ، وبالتالي فان الجهد بين قطبي القاطع يصبح ضعف القيمة $2E_m$ ، من $-E_m$ الي $+E_m$. إذا حدث اعادة اختراق (*Restrike*) خلال تلامس القاطع نصف دورة بعد الفتح ، عند قيمة تيار يساوي صفر - في هذه اللحظه يحدث ارتفاع في الجهد بقيمة تساوي ثلاثة أضعاف جهد المصدر ($-3E_m$) شكل (٧ - ٤) .هذ الجهد يمكن ان يكون أكبر من ثلاثة أضعاف قيمة أقصي الجهد ، وهو يعتمد علي اللحظة التي يحدث عندها اعادة الاختراق(*Restrike*) . بعد نصف دورة من حدوث اعاده الاختراق يصبح جهد المصدر موجب $+E_m$. وعلي ذلك فان الجهد بين طرفي القاطع يكون أربعة أضعاف قيمةأقصي جهد المصدر (من E_m إلي $-3E_m$ يساوي $4E_m$) بفرض حدوث اعادة الاختراق ، عند هذه اللحظة فان جهد المكثف سوف يرتفع الي حوالي خمسة أضعاف القيمة القصوي ....

ثانيا : موجات التيار العارمة *High Current Surges*

في حالة حدوث تيارات تلاشي فجائية لمدة قصيرة *High Transient Current* لوحدة مكثفات جهد عالي متصلة علي قضبان رئيسية ، فان أقصى قيمة لهذا التيار يكون حوالي ٢٠ مرة من قيمة التيار العادي للمكثف ، عند تردد قد يصل الي واحد كيلو هرتز ، يجب أن تكون المعدات الكهربية والمصهرات المستخدمة للمكثفات مناسبة لقيم التيارات الفجائية . عند توصيل المكثفات يمر تيار اندفاعي كبير جدا . القيمة العظمى للتيار الاندفاعي (*Inrush Current*) لوحدة مكثفات يمكن ان تحسب من العلاقة .

$$I_{max} = 1.15\, I_o \left(1 + \sqrt{\frac{S}{Q}}\right) Amp. \quad ...... \quad (٤ - ١)$$

حيث I_o = قيمة أقصي تيار عادي عند التردد العادي .

S = قيمة قدرة قصر الدائرة *KVA*

Q = قيمة قدرة المكثفات *Kvar*

يمكن حساب I_{max} باستخدام المعادلة التقريبية الآتية : -

$$Imax = I_o \sqrt{2} \quad \sqrt{\frac{S}{Q}} \quad Amp. ...... \text{أ} \quad (٤ - ١)$$

تردد التيار الاندفاعي f يحسب من العلاقة : -

$$f = F_o \sqrt{\frac{S}{Q}}$$

حيث F_o = تردد المصدر

عند توصيل وحدة مكثفات أو أكثر علي التوازي ، مع مكثفات موصلة مسبقا علي المصدر ، فان المكثفات الموصلة مسبقا تفرغ طاقة إلي المكثفات التي يتم توصيلها ، والتي تمثل حالة قصر بالنسبة لها . قيمة التيار الاندفاعي تحدد فقط بقيمة ممانعة التوصيلات والمعدات وهي صغيرة جدا . في هذه الحالة قد يصل التيار الاندفاعي والتردد إلي ٢٠٠ مرة من قيمة التيار العادي للمكثف ، عند تردد ٢٠ ك . هرتز .

القيمة العظمي للتيار الاندفاعي I_{pk} في حالة توصيل مكثفات علي مراحل علي التوازي ، مع مكثفات موصلة أصلا علي المصدر عند تردد F_o عبارة عن:

$$I_{pk} = 2900 \sqrt{\frac{n-1}{n} \times \frac{Kvar}{L_o}} \quad Amp. ...... \quad (٤ - ٢)$$

حيث:

n = رقم المرحلة التي سيتم توصيلها .

Kvar = قيمة مرحلة المكثفات بالكيلو فار لكل وجه .

L_o = معامل الحث بين مراحل المكثفات ميكروهنري لكل وجه. ويكون التردد المقابل :

$$F = \frac{126 \ V}{\sqrt{L_o \times Kvar}} \quad Hz$$

كذلك يمكن حساب I_{pk} بصورة أخري للمعادلة رقم (٢ - ٤) ، وذلك عند توصيل المرحلة

(n - 1) كالآتي : -

$$I_{pk} = \frac{n}{n+1} \frac{V\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{C}{L_o}} \quad Amp. \;......\quad (٢ - ٤)$$

حيث C = سعة المكثف (ميكروفاراد)

V = هو جهد المنظومة الخطي

الشكل بوضع وحدة مكثفات (C) ، موصلة علي المصدر ، ومرحلة مكثف (C_1) سوف يتم توصيلها علي التوازي .

C L_o C_1

أمثلة لبعض قيم L_o:

خط هوائي	٠,٣٣ ميكروهنري / القدم /الوجه
كابل ثلاثي الأوجه	٠,٠٩ ميكروهنري / القدم / الوجه
وحدة مكثفات	١ ميكروهنري / الوجه
معدات كهربية (قاطع)	١ ميكروهنري / الوجه

مثال ٩ :

منظومة مواصفاتها بالرموز المعرفة سابقا علي النحو التالي :

$Q = 25\ Kvar$ for 3 - Phases

$= 25 / 3$ Kvar / Ph

$L_o = 1$ µH / Ph

$V = 400$ Volts   الجهد الخطي

$n = 4$ $F_o = 50\ Hz$

باستخدام المعادلة رقم (٢ - ٤) نحصل علي قيمة التيار الاندفاعي بعد توصيل المرحلة الرابعة ، أي عندما تكون n = 4 ، علي النحو التالي :

$$I_{pk} = 2900 \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \frac{25}{3x1}} = 7250\ Amps.$$

$$Q = \sqrt{3}\ V I_L \ / 1000\ Kvar$$

بحساب تيار الحمل الكامل ، نجد أن قيمته عبارة عن : -

$I_L = 25 \times 1000 / \sqrt{3} \times 400 = 36$ Amps.

$\therefore\ I_{pk} \cong \quad 200\, I_L$

مثال (٢) :

منظومة تحتوي علي وحدة مكثفات ثابتة القيمة ، مواصفاتها كما في الشكل

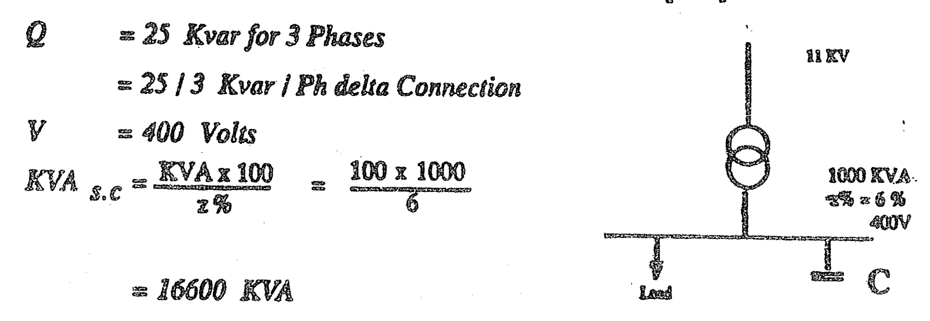
$Q \quad = 25$ Kvar for 3 Phases

$\quad = 25 / 3$ Kvar / Ph delta Connection

$V \quad = 400$ Volts

$$KVA_{s.c} = \frac{KVA \times 100}{z\,\%} = \frac{100 \times 1000}{6}$$

$$= 16600 \text{ KVA}$$



تيار الحمل الكامل ، كما في مثال (١) :

$I_o = I_L = 36$ Amps.

يمكن حساب القيمة العظمي للتيار الاندفاعي لوحدة المكثفات من المعادلة (١ - ٤)

$$I_{max} = 1.15 \times 36 \left(1 + \sqrt{\frac{16600}{25}}\right) = 41.3 \times (1 + 25.3)$$

$$= 1080 \text{ Amps.}$$

$\therefore\ I_{max} \cong 30\, I_L$

ثالثا : ظاهرة التوافقيات Influence of Harmonics

عند الترددات العالية تكون قيمة معاوقة المكثفات صغيرة جدا .. وعلي ذلك فان مجموعة مجموعة التيارات التوافقية التي يسحبها الحمل من الشبكة تؤدي إلي رفع اجهادات الجهد علي المكثفات ، عند مرورها فيها .

يمكن حساب تأثير مرور التيارات التوافقية في المكثفات علي جهدها من العلاقة :

$$U_V = \sum \frac{Icn}{n2\ \pi f_1 c} \quad Volt \ldots\ldots (٤ - ٣)$$

حيث

U_v = جهد الوجه لوحدة المكثفات الناشئ عن مرور التيارات التوافقيه فيها .

n = درجة التوافقية .

I_{cn} = تيار التوافقية n المار في المكثف

f_1 = التردد الاساسي (٥٠ هرتز)

c = سعة المكثف / الوجه .

تيار التوافقية ذات الدرجة (n) للمكثف يمكن الحصول عليه من العلاقة

$$I_{cn} = \frac{In}{1-(X_c/n^2)X_L}$$

$$Icn = \frac{In}{1-(S_k/n^2)Q_c} \quad Amp. \ldots\ldots (٤ - ٤)$$

حيث :

In = تيار التوافقية ذات الدرجة n ، اللتي يسحبه الحمل .

n = درجة التوافقية .

X_c = ممانعة المكثف عند التردد الأساس .

X_L = ممانعة الشبكة عند التردد الأساس .

Q_c = قدرة المكثف Var

S_k = قدرة قصر الشبكة VA

من العلاقة السابقة يلاحظ أن ممانعتي المكثف والشبكة تكونان في حالة رنين بالنسبة للتوافقية ذات الدرجة

$$n = \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}} = \sqrt{\frac{X_c}{X_L}} \quad ...(٤ - ٥)$$

يتضح من ذلك أن توصيل مصدر للتوافقيات مع المكثفات علي نفس القضبان يمكن أن يخلق دائرة رنين توازي ، بالمثل فان توصيل المكثفات علي ملف ثانوي لمحول القدرة يمكن أن يخلق دائرة رنين توالي ، ولكن تقل خطورتها بسبب مقاومة الخط التي تعمل علي اخماد هذا الرنين .

وعلي ذلك عند توصيل المكثفات يجب تجنب مخاطر الرنين عند التوافقيات الشائعة ، وهي الثالثة - الخامسة - السابعة - التاسعة ....

رابعاً : العوامل الخارجية التي تؤثر علي تشغيل المكثفات :

المكثفات تكون عادة مشربة بمواد كيماوية بعضها سام . لذلك يجب بذل الاهتمام والاعتناء في حالة معاملة هذه المواد ، حتي لاتتلوث البيئة المحيطة بها . كذلك يجب اجراء ملاحظة دائمة لأي تسرب لهذه المادة ، ومعالجته فوراً.

مثال (٣)

الشبكة المبينة تفاصلها في الرسم ذات مواصفات علي النحو الآتي : قدرة القصر للشبكة عند جهد ١١٠ كيلو ڤولت عبارة عن .

MVAsc at 110 kv = 4000 MVA

$MVAsc$ (قدرة القصر للمحول الرئيسي) $= \frac{SN}{Z_k} = \frac{30}{0.12} = 250\ MVA$

$MVAsc\ at\ 20\ KV = \frac{4000 \times 250}{4000 + 250} = 235\ MVA$

(قدرة القصر للشبكة علي القضبان ٢٠ كيلو فولت) .

MVA_{sc} (قدرة القصر لمحول التوزيع) $= \frac{0.8}{0.05} = 16\ MVA$

قدرة القصر للشبكة على قضبان ٤٠٠ فولت .

$$MVAsc\ at\ 400V = \frac{235 \times 16}{235 + 16} = 15MVA$$

وهذه هي القدرة S_K ، التي تحدد قدرة المكثفات Q_c عند التوافقية ذات الدرجه n ، والتي

$$Q_c = \frac{MVA_{sc}\ at\ 400V}{n^2} = \frac{S_k}{n^2}$$

يحدث الرنين عند التوافقية الثالثة $(n = 3)$ عندما تكون قدرة المكثفات :

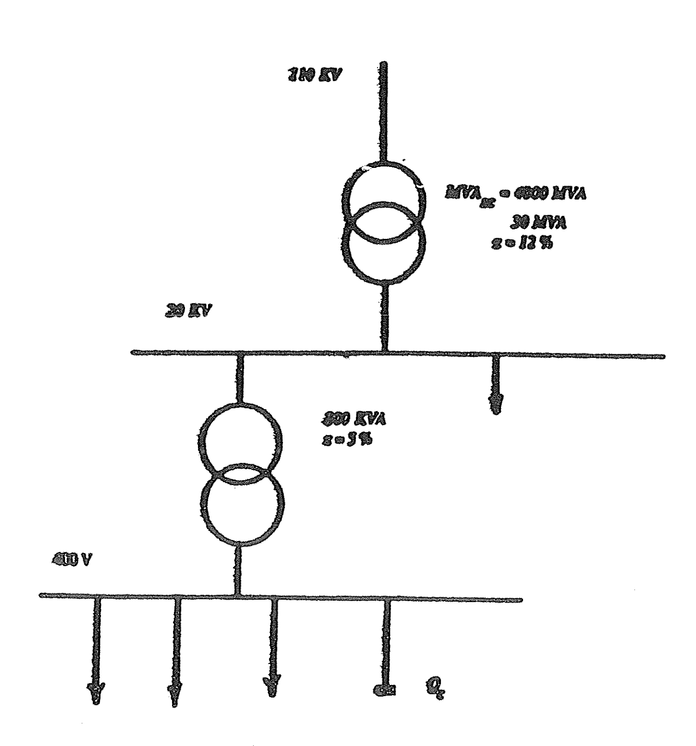
$$Q_c = \frac{15}{9} = 1.67\ Mvar$$

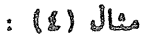
وعندما تكون $n = 5$

$$Q_c = \frac{15}{25} = 0.6\ Mvar$$

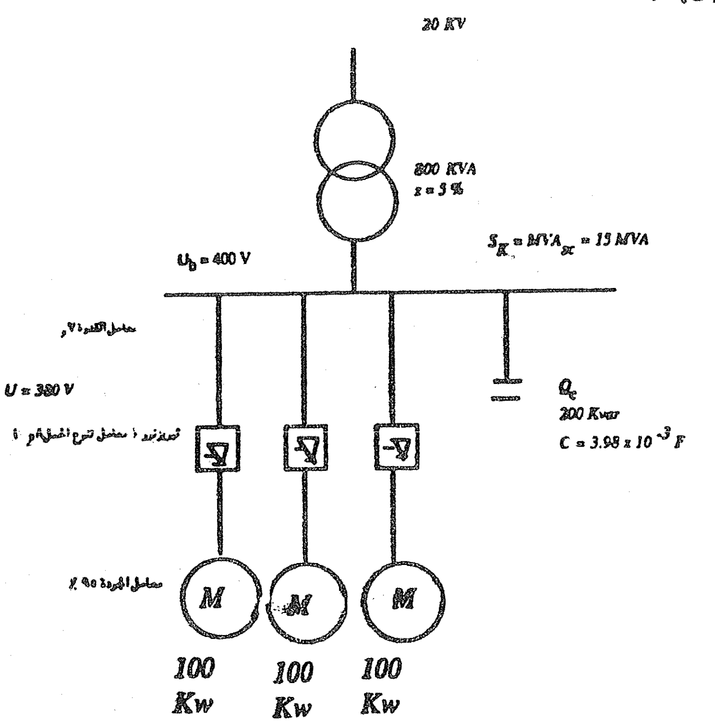
وعندما تكون $n = 7$

$$Q_c = \frac{15}{49} = 0.306\ Mvar$$





مثال (٤) :



يمثل الشكل المعطي منظومة وسائل تحريك كهربي ، عبارة عن ثلاثة محركات تيار مستمر مقنن قدرة كل منها ١٠٠ كيلو وات ، تغذيها ثلاثة ثيريزتورات لتقويم التيارات التي تأخذها من قضبان التوزيع ٤٠٠ ڤولت .. وتتصل قضبان التوزيع بشبكة الجهد المتوسط ٢٠ كيلو ڤولت من خلال محول قدرته ٨٠٠ كيلو ڤولت أمبير ، ومبين علي الشكل مواصفات أجزاء المنظومة التي سوف تستخدم في الحل ، ونجد أن مقنن تيار الثيريزتور علي هذا الاساس هو :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}.U.\eta.\cos\Phi} = \frac{0.8 \times 3 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.95 \times 0.7} = 550\ A$$

وذلك باعتبار أن الثيريزتور يعمل بالمواصفات الآتية

معامل القدرة — Power Factor = 0.7

معامل التنوع في الحمل — Diversity Factor = 0.8

معامل جودة المحرك — Motor Efficiency 95 %

هذا ، وتكون التوافقيات ، التي تنشأ عن استخدام الثيريزتور مع وسيلة التحريك الكهربى ، متولدة عادة بفعل مقوم التيار سداسي النبضية ، وذلك بنسبة مئوية من مقنن التيار (٥٥٠ أمبير) ، علي حسب درجة التوافقية ، علي النحو الآتي :

في حالة التوافقية ذات الدرجة الخامسة .

$30\ \%\ x\ I = 0.3\ x\ 550 = 165\ A$

والتوافقية ذات الدرجة السابعة .

$12\ \%\ x\ I = 0.12\ x\ 550 = 66\ A$

والتوافقية ذات الدرجة الحادية عشر .

$6\ \%\ x\ I = 0.06\ x\ 550 = 33\ A$

والتوافقية ذات الدرجة الثالثة عشر.

$5\ \%\ x\ I = 0.05\ x\ 550 = 28\ A$

فاذا تم اختيار مصفوفة المكثفات ، والتي مقنن قدرتها ٢٠٠ كيلو ڤار ، لتحسين معامل القدرة ، نجد أن توافقيات التيار ،التي سوف تمر في هذه المكثفات بفعل توافقيات التيار السابقة هي حسب القانون المعطي سابقا ، وباعتبار In تيار التوافقية المعنية :

$$I_{cn} = \frac{I_n}{1 - \dfrac{S_k}{n^2 Q_c}}$$

$I_{c5} = 82\ A$

$I_{c7} = 124\ A$

$I_{c11} = 87\ A$

$I_{c13} = 50\ A$

وبأستخدام قدرة مصفوفة المكثفات Q_c نحصل علي القيمة الفعالة للتيار ، التي تعتبر المركبة الاساسية I_{c1} :

$$I_{c1} = Q_c / \sqrt{3}\ U_b = 289\ A$$

وبذلك نجد أن قيمة تيار المكثفات الفعالة I_c عبار عن :

$$I_c = \sqrt{289^2 + 82^2 + 124^2 + 78^2 + 50^2} = 340\ A$$

لكي نحصل علي جهود التوافقية ذات الدرجة n ،(U_{vn})التي تنشئها التيارات التوافقية من نفس الدرجة (I_{cn}) علي المكثفات . يجب حساب سعة المكثفات C أولا علي النحو التالي :

$$C = \frac{Q_c}{U_b^2\, w} = 3.98\quad 10^{-3}\ F$$

ومن ثم نحصل علي الجهود التوافقية باستخدام العلاقة :-

$$Uvn = \frac{I_{cn}}{n \times 2\pi\ f_1 \times c}$$

وتكون توافقية الجهد الخامسة عبارة عن — 5th harmonic

$$U_{v5} = 13\ V$$

وتوافقية الجهد السابعة — 7th harmonic

$$U_{v7} = 14\ V$$

وتوافقية الجهد الحادية عشر — 11 th harmonic

$$U_{v11} = 6\ v$$

وتوافقية الجهد الثالثة عشر — 13th harmonic

$$Uv13 = 3\ v$$

ويكون الاجهاد الفعلي الكلي الناشئ علي صف المكثفات يناظر جهداً Uc عبارة عن :

$$U_c = 400 + \sqrt{3} \times 13 + \sqrt{3} \times 14 + \sqrt{3} \times 6 + \sqrt{3} \times 3$$

$$= 462\ V.$$

ويبين الجدول الآتي كيف تختلف قيمة U_C علي حسب مقنن قدرة مصفوفة المكثفات Q_C

Capacitor Kvar	I_{c1} A	I_{c3} A	I_{c7} A	I_{c11} A	I_{c13} A	I_c A	U_{v5} V	U_{v7} v	U_{v11} v	U_{v13} V	U v
100	144	33	32	137	250	323	10	7	20	31	518
200	289	82	124	87	50	340	13	14	6	3	462
400	577	330	281	48	36	66''	26	16	2	1	478

ويلاحظ بمراجعة هذا الجدول أنه في جميع الأحوال سوف تتعرض مصفوفة المكثفات للاجهاد الزائد بسبب تعدي الجهد عليه عن الجهد المقنن $(U_C > U)$ ، والي جانب ذلك نجد في حالة مقنن القدرة ١٠٠ كيلو ڤار انها تقترب جدا من حدوث الرنين عند التوافقية الثالثة عشر ، حيث تصل القيمة الفعالة لتيار مصفوفة المكثفات (I_c) مرتين وربع تقريبا من مقنن التيار (I_{c1}) له .

٣ - ٤ حلول بعض مشكلات المكثفات

اولا : مشكلة حدوث ارتفاع الجهد .

للتخلص من حدوث الارتفاع في الجهد تجهز مجموعات المكثفات بمقاومات تفريغ ، حيث يتم توصيل المقاومة توصيلا دائما علي طرفي مجموعة المكثفات ، وذلك اما بالتوصيل المباشر ، أو من خلال تلامس مساعد في قاطع التيار المستخدم مع مجموعة المكثفات ، بحيث يصبح الجهد المتبقي *(Residual Valtage)* مساويا أو أقل من ٥٠ ڤولت ، في وقت يساوي تقريبا ثانية واحدة ، وذلك حسب المواصفات القياسيه (IEC) الجزء السادس NFC 54100 - 70 شكل (٤-٨) يوضح بعض طرق توصيل مقاومات تفريغ .

طريقة حساب قيمة مقاومة التفريغ (R_d)

يمثل شكل (٩ - ٤) مكثف له سعة (C) فاراد ، وقدرة (Q) ڤار ، ويغذي من مصدر تيار متردد جهده (U) ڤولت ، وتردد f هرتز المعادلة العامة لتيار التفريغ عباره عن .

$$I_{discharge} = \frac{U}{R_d} e^{-t/CR_d} \qquad Amps. .... (٤ - ٦)$$

بحل هذه المعادلة نجد أن مقاومة التفريغ عبارة عن :

$$R_d = \frac{t}{2.3\, C \log \frac{U\sqrt{2}}{u}} \qquad ohm. .... (٤ - ٧)$$

$$C = \frac{I_{disch}}{\omega U} = \frac{IU}{\omega U^2} = \frac{Q}{\omega U^2}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$R_d = \frac{t}{2.3 \left(\frac{Q}{\omega U^2}\right) \log \frac{U\sqrt{2}}{u}} \qquad ohm. ... (٤ - ٨)$$

حيث

R_d = مقاومة التفريغ بالاوم .

t = زمن تفريغ الشحنه بالثانية .

Q = قدرة المكثف بالڤار .

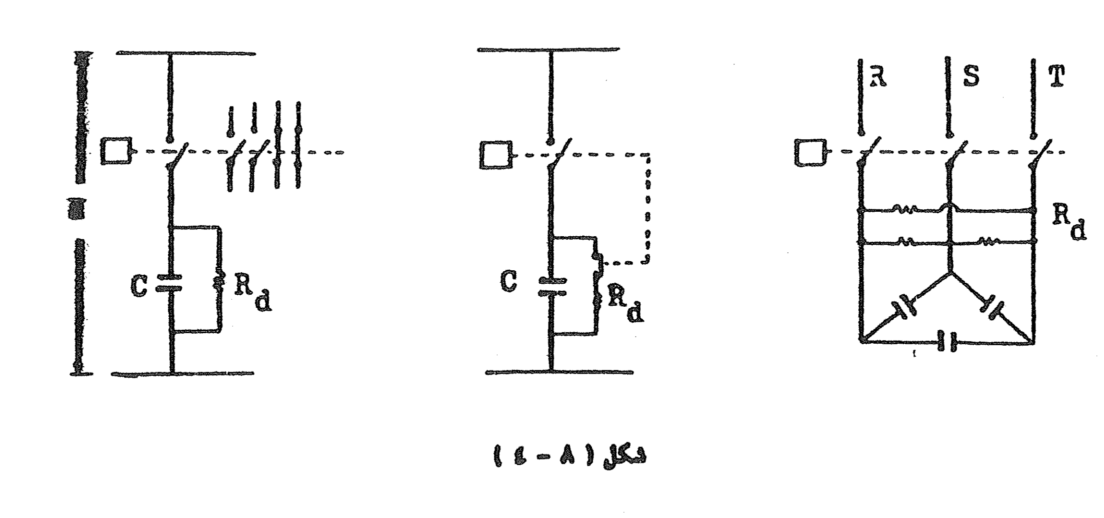
U = جهد المصدر بالڤولت .

f = تردد المصدر بالهرتز .

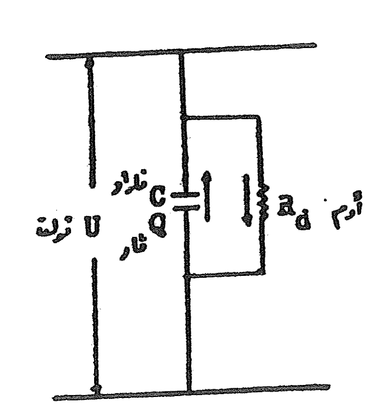
u = الجهد المتبقي بالڤولت .

جدول يبين القيم المعتادة لمقاومات التفريغ بالاوم

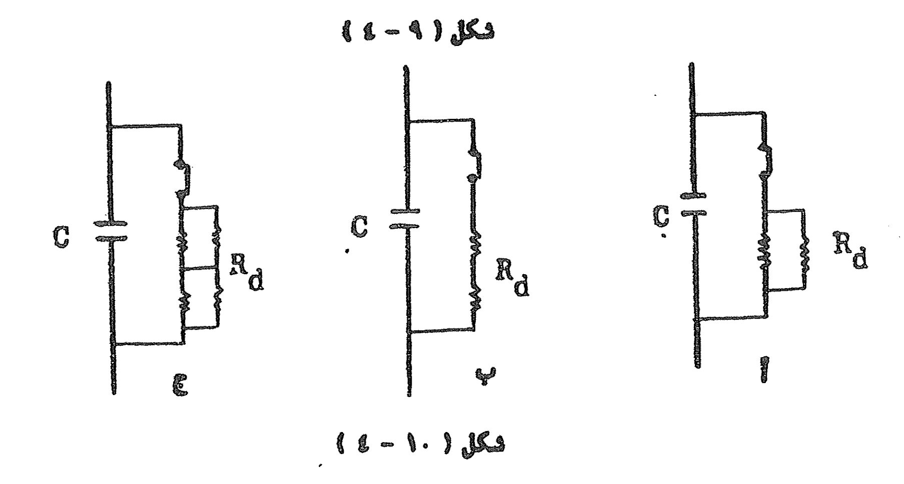
١٠	١٠٠	٦٨٠	٥٦٠٠
١٥	١٢٠	١٠٠٠	٦٨٠٠
٢٢	١٥٠	١٢٠٠	١٠٠٠٠
٢٧	٢٢٠	١٥٠٠	١٢٠٠٠
٣٣	٢٧٠	٢٢٠٠	١٥٠٠٠
٣٩	٣٣٠	٢٧٠٠	٢٢٠٠٠
٤٧	٣٩٠	٣٣٠٠	٢٧٠٠٠
٥٦	٤٧٠	٣٩٠٠	٣٣٠٠٠
٦٨	٥٦٠	٤٧٠٠	



شكل (٨ - ٤)



شكل (٩ - ٤)



شكل (١٠ - ٤)

يمكن ان تتكون المقاومة (R_d) من مقاومات موصلة علي التوالي ، أو علي التوازي ، أو علي التوالي والتوازي معا ، كما هو مبين بالشكل (١٠ - ٤) .

في حالة توصيل المقاومات علي التوازي : اذا حدث انهيار أي من هذه المقاومات سوف يعتمد التفريغ علي باقي المجموعة ، كما في شكل (١٠ - ٤) أ.

في حالة توصيل المقاومات علي التوالي : فان الجهد سوف يتوزع علي هذه المقاومات ، مما يخفض جهد كل منها ، كما هو واضح من شكل (١٠ - ٤) ب .

في حالة توصيل المقاومات علي التوازي والتوالي معاً : وهذه حالة تجمع بين الشكلين (١٠ - ٤) أ ، (١٠ - ٤) ب ، حيث يستفاد من مميزات كل من الحالتين فيها ، كما هو مبين في شكل (١٠ - ٤) ج.

شكل (١١ -٤) يوضح الطرق المختلفة لتوصيل مقاومات تفريغ سريع .

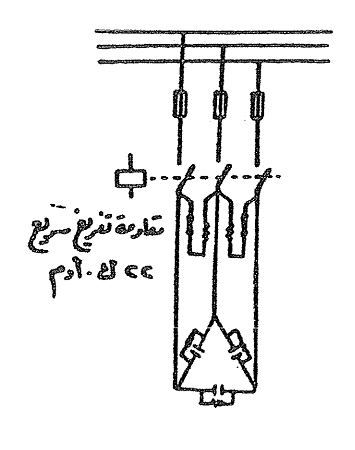
بعد حساب قيمة المقاومة من المعادلة السابقة يتم تقريبها الي قيمة من القيم المعتادة لمقاومات التفريغ - المعطاة في الجدول - ولكن يجب ان نأخذ في الاعتبار العوامل الآتية :

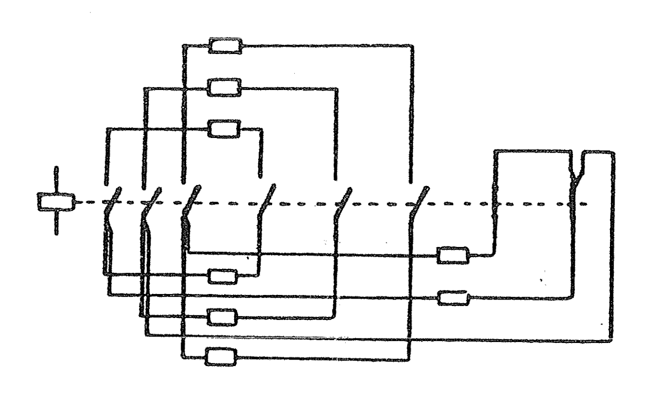
- القدرة التي تتبدد في المقاومة .
- الجهد علي طرفي المكثف .
- الخواص المميزة للمقاومة .

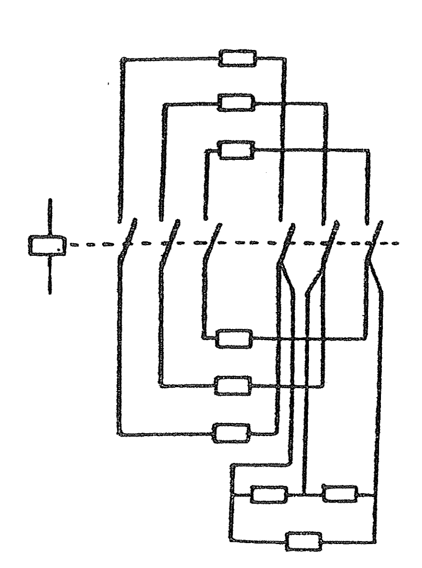
لحساب القدرة التي تتبدد في المقاومة سنفرض ان القدرة المختزنة في المكثف تتبدد في المقاومة فقط (أي نهمل مايتبدد في القوس الكهربي) القدرة المختزنة في المكثف عبارة عن ($\frac{1}{2}\ CU^2$) بالجول ، ونظرا لان التفريغ يتم في (t) ثانيه ، فان متوسط قيمة القدرة المتبددة(p) تكون :

$$P = \frac{1}{2}\ CU^2/t \quad \text{watts} \ldots\ldots (٤ - ٩)$$

(وذلك مع اهمال قيمة القدرة المناظرة للجهد المتبقي u) .







شكل (١١ - ٤) طرق مختلفة لتوصيل مقاومات تفريغ سريع

فى حالة ما اذا كانت مقاومة التفريغ غير متصلة بصفة مستمرة ، فانه يمكن استخدام معامل انتفاع فى هذه الحالة ، وهو غالبا ما يساوى ١٠ تقريبا فى الحياة العملية ،

أى أن قدرة المقاومة المكافئة بالوات فى حالة التشغيل المستمر = $\frac{\text{متوسط قيمة القدرة المتبددة}}{١٠}$

يمكن تبسيط المعادلة السابقة لحساب (R_d) كالآتى

$$R_d = \frac{A \; 10^3}{Q} \qquad ohm \qquad ---(١٠-٤)$$

حيث Q قدرة المكثف بالفار

A معطاه بدلالة الجهد U ، باستخدام المنحنى المعطى

فى شكل (١٢ - ٤) ، على أساس أن زمن التفريغ للشحنة يساوى ثانية واحدة ($t = 1$ sec)

مثال:

احسب قيمة مقاومة التفريغ إذا كان زمن التفريغ دقيقه واحده ، لمكثف بيانه كالآتى

$Q = 25/3$ kvar

$U = 400$ volt

$t = 1$ sec

$u = 50$ volt

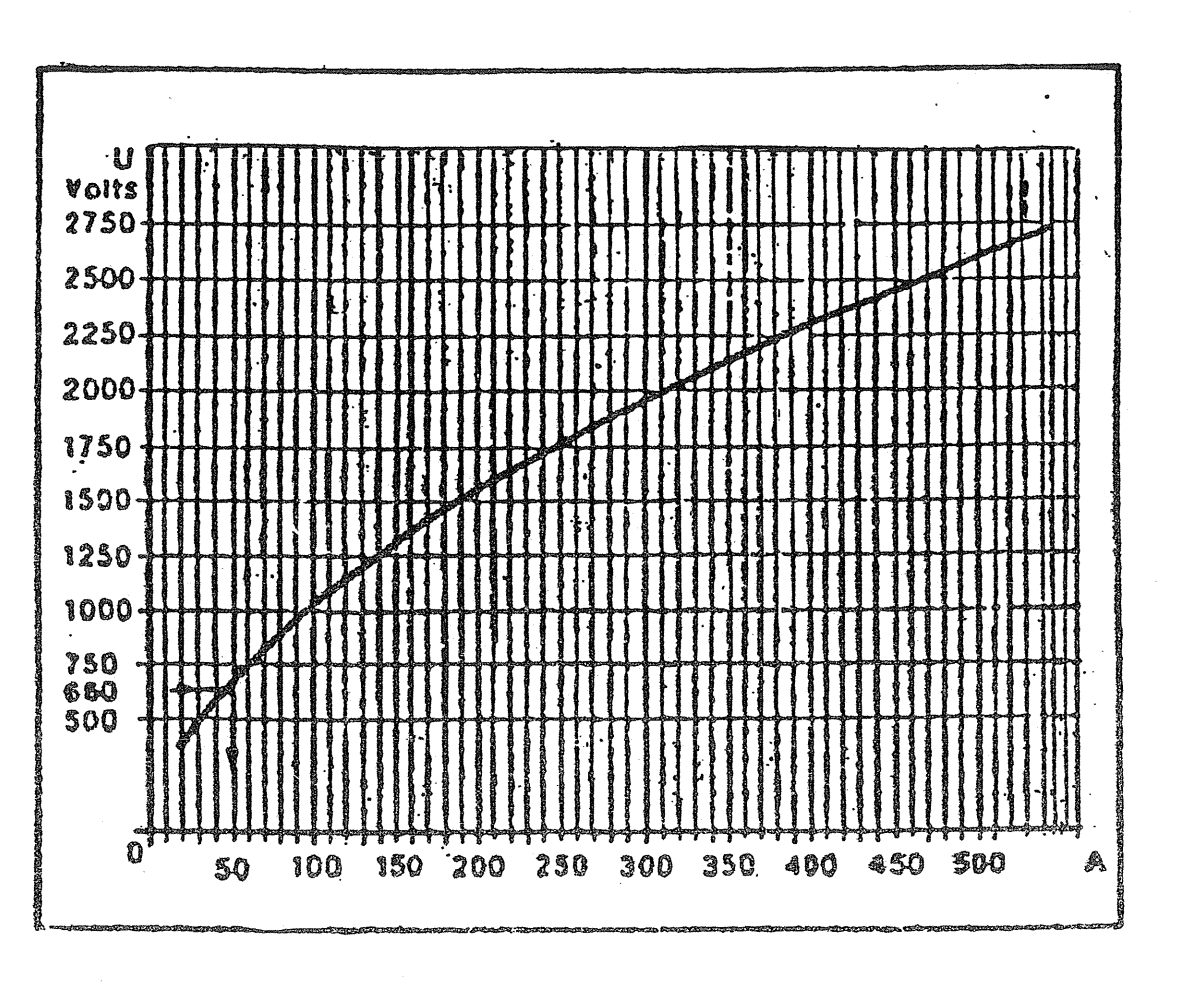
الحل :

بتطبيق المعادلة المستخدمة لايجاد R_d نجد أن قيمتها فى هذه الحالة عبارة عن

$R_d = 2.7$ kohm

وعندما تكون t تساوى دقيقه واحده بدلا من ثانية واحده ،نجد أن

$R_d = 162$ kohm



شكل (١٢ - ٤) للحصول على الدالة A بدلالة U

ـنهد المصدر . على أساس أن زمن التفريغ ا يساوى ثانية واحدة

ثانيا : مشكلة موجات التيار الفجائية

عند توصيل مجموعة مكثفات – ثابتة أو مرحلية – يمر تيار اندفاعى

(Inrush Current) يعتمد فى قيمته على

- حجم قدرة القصر للمنظومة *(System Short Circuit Power)*
- قدرة وحدة المكثفات التى سيتم توصيلها .
- عدد مراحل المكثفات الموصلة من قبل .

فى حالة توصيل مكثفات على مراحل ، بطريقة آليه ، يمكن أن تصل قيمة أقصى تيار فجائى (اندفاعى) الى ٢٠٠ مرة من التيار المقنن لمكثف المرحلة .

يجب أن تحدد قيمة أقصى تيار فجائى (اندفاعى) الى ١٠٠ مرة من التيار المقنن . كذلك يجب ألا تتعدى هذه القيمة أقصى قيمة لتيار الفصل لقاطع التيار – المغذى للقضبان الرئيسية – ويتم ذلك عن طريق تركيب ممانعة (Reactor) موصلة على التوالى مع وحدة المكثفات ، أو بتوصيل وحدة المكثفات على كل محول قدرة ، لضمان عدم دخول وحدات على التوازى

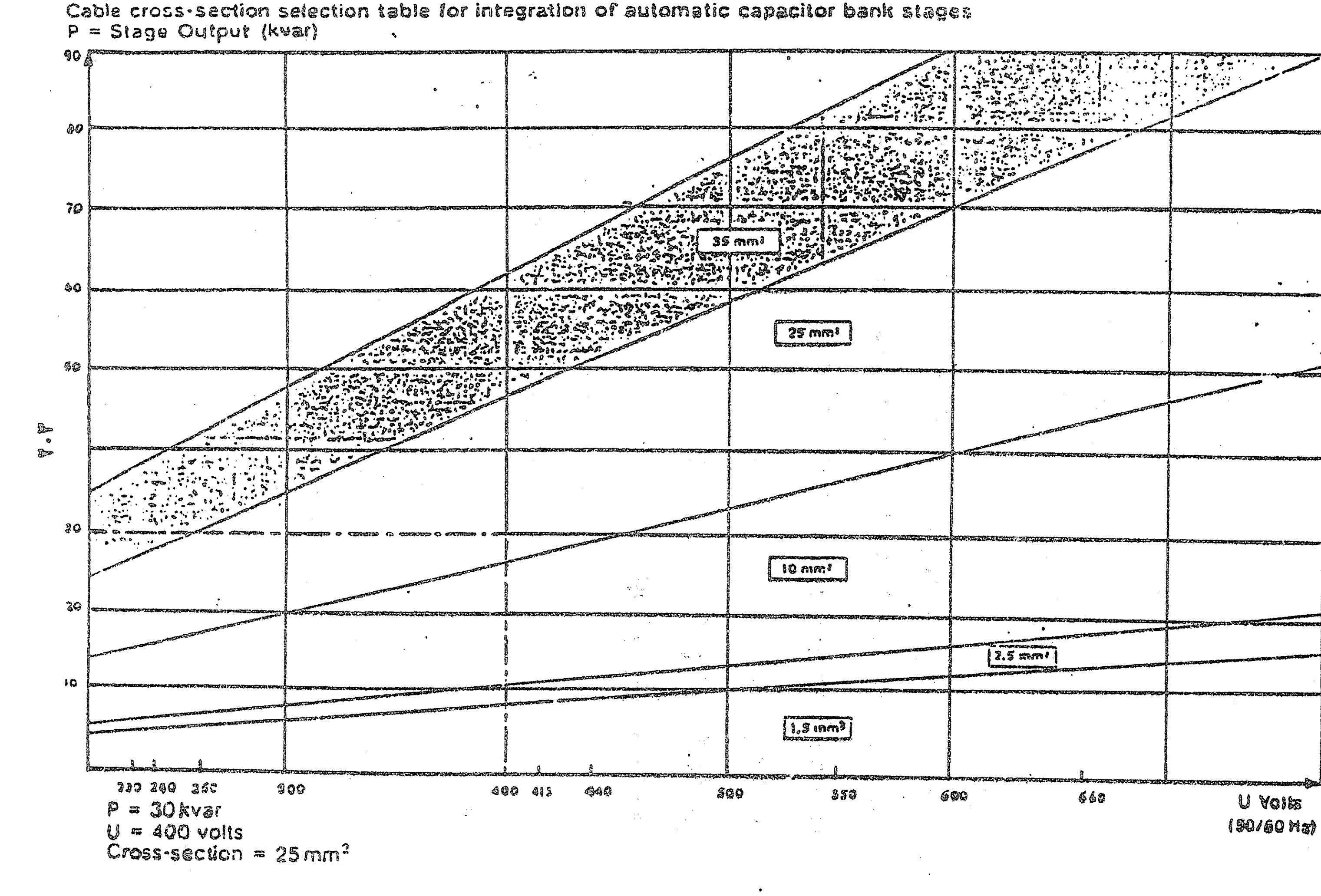
الممانعة *(reactor)* المستخدمة للحدمن قيمة التيار الفجائى :

للحفاظ على التلامسات والمكثفات ، يجب أن يحد تيار التوصيل باستخدام ممانعة ، توصل على التوالى مع المكثفات فى حالة المكثفات ثابتة القيمة ، أو توصل مع المنظومة ، فى حالة وحدات المكثفات التى يتم توصيلها على مراحل بطريقة آلية .

تكون الممانعة (المستخدمة للجهود المنخفضة) عبارة عن سلك نحاس معزول بطول ٩٠ سم، يتناسب مع قدرة المكثف ، وهو ملفوف حلزونيا ، ويتم تحديد عدد لفاته وقطره على النحو التالى:

شكل (١٣ – ٤) يوضح العلاقة بين الجهد ، وقدرة المرحلة فى المكثفات ، وقطر السلك . فمثلا عند جهد ٤٠٠ ڤولت ، وقدرة مرحلة المكثفات ٣٠ ك . ڤار ، يكون قطر السلك اللازم لعمل الممانعة عبارة عن ٢٥ مم٢

- اذا كان مفتاح التلامس *(Contactor)* مناسبا للمكثفات فان الممانعة فى هذه الحالة تكون عبارة عن سلك نحاس معزول بطول ٩٠ سم ، وملفوف لفة واحدة بقطر ١٤ سم ، كما هو مبين فى شكل (١٤ – ٤) .


Cable cross-section selection table for integration of automatic capacitor bank stages
P = Stage Output (kvar)
35 mm²
25 mm²
10 mm²
2.5 mm²
1.5 mm²
400 415 440
500
550
600
660
U Volts
(50/60 Hz)
P = 30 kvar
U = 400 volts
Cross-section = 25 mm²

شكل (١٣ - ٤)

- اذا كان مفتاح التلامس (Contactor) غيرمناسب للمكثفات ، فان المانعة فى هذه الحالة تكون عبارة عن سلك نحاس معزول بطول ٩٠ سم ملفوف لفا حلزونيا بعدد ٥ لفات ، وبقطر ١٤ سم .

شكل (١٥ - ٤) يوضح طريقة توصيل مجموعة مكثفات بدون استخدام ممانعة

شكل (١٦ - ٤) يوضح طريقة توصيل مجموعة مكثفات فى حالة استخدام ممانعة.

الجدول الآتى يوضح القيم الفنيه المختلفة فى حالة استخدام ، وعدم استخدام ، ممانعة لوحدة مكثفات ٢٢٠ ڤولت - تيار متردد - ٥٠ هرتز - قيمة المانعة ٦ ٪ ($\frac{XI}{V} \times 100$) الكل مرحلة عبارة عن ٢×٢٥ ك ڤار

	بدون ممانعة Without reactor	باستخدام ممانعة With reactor
أقصى قدرة المكثفات ك . ڤار	٦٠٠	٢٠٠
أقصى تيار مقنن - أمبير	٢١٦	٧٢
الفقد وات /ك . ڤار	١	٣٫٦

جهد التشغيل للممانعة ٤٠٠ ڤولت ويمكن أن يختبر حتى ٢٥ ك . ف .

شكل (١٧ - ٤) يوضح مرحلتين من المكثفات ٢ × ٢٥ ك ڤار وقد تمت معالجة ارتفاع الجهد عن طريق مقاومات التفريغ ، وكذلك معالجة التيارات الفجائية عن طريق توصيل المانعات

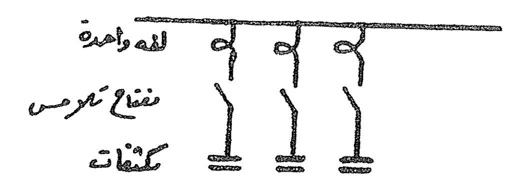
مثال:

حساب حجم الممانعة اللازم أضافتها للحفاظ على مستوى قدرة القصر لقاطع التيار ، وذلك عند التعديل باضافة محول جديد ، كما فى شكل (١٨ - ٤) :

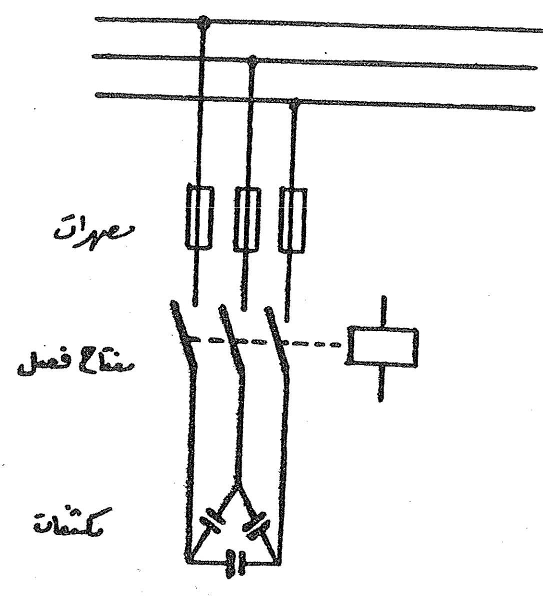
100 MVA = قدرة الفصل لقاطع التيار المستخدم أصلا

$\frac{MVA}{Z\ \%} \times 100$ = قدرة الفصل اللازمة عند التغذية من المحول المستخدم بعد التعديل

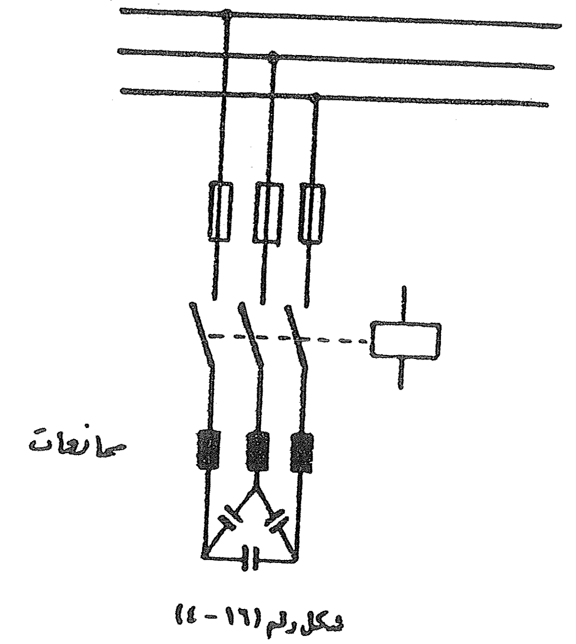
$= 10/5 \times 100 = 200$ MVA



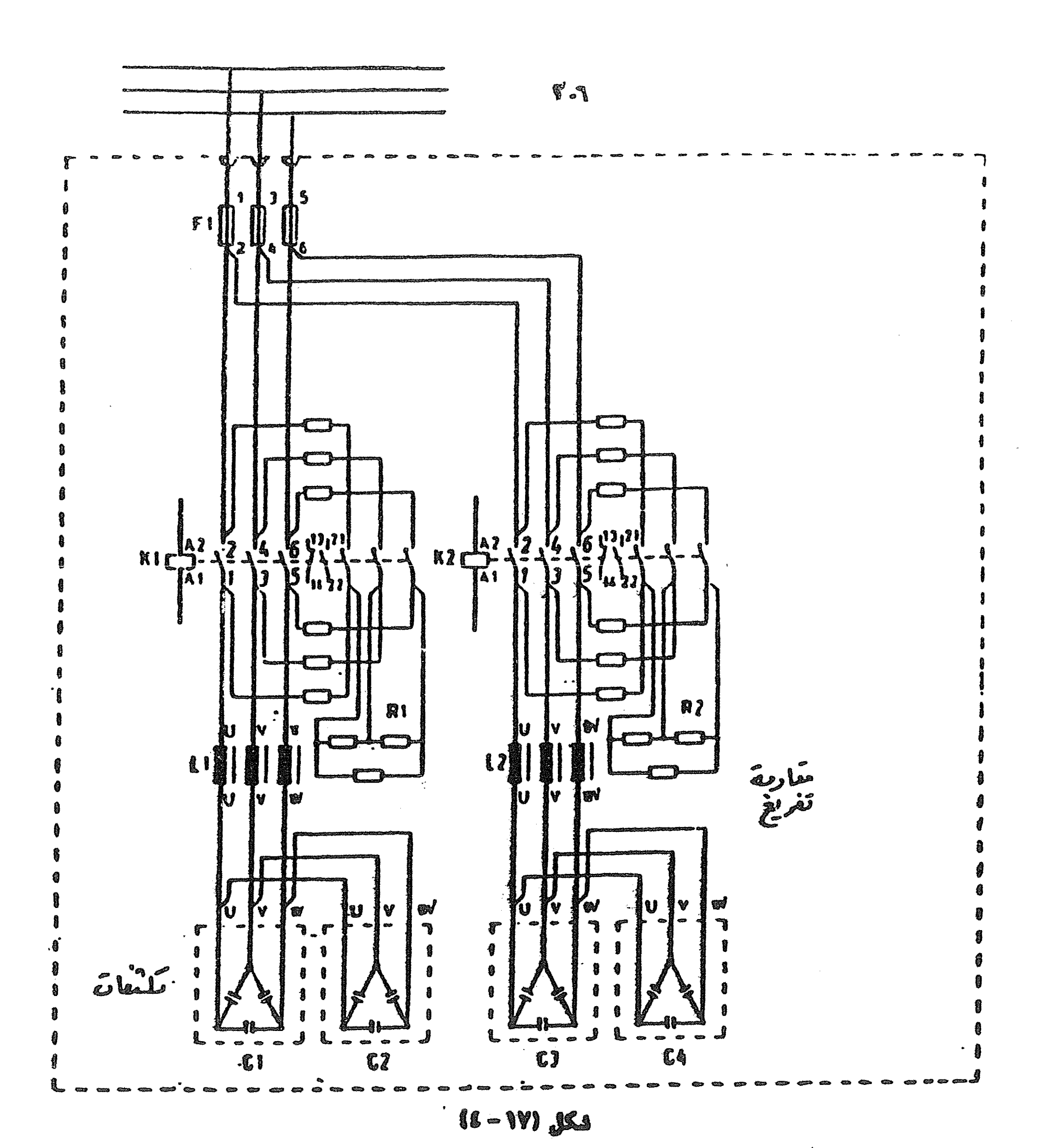
شكل (١٤-٤)



شكل (١٥-٤)



شكل رقم (١٦ - ٤)



شكل (١٧ - ٤)

قاطع التيار المستخدم أصلاً

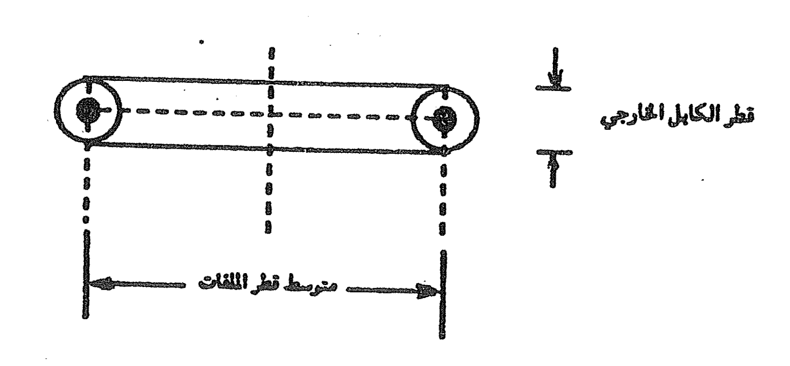
المانعة المضافة

شكل (١٨ - ٤)

وهذا يعني أنه للحفاظ على مستوى قدرة القصر حتى ١٠٠ م . ف . أ ، يلزم اضافة ممانعة بقيمة ٥ ٪ ، وعلى ذلك تصبح الممانعة الكلية ، الناتجة عن ممانعة المحول و الممانعة المضافة ، مجموعتين معا عباره عن ١٠ ٪.

يمكن باستخدام جدول معامل الحث ، تحديد شكل الممانعة اللازم تركيبها اذا كانت قيمة معامل الحث (L) بالميكروهنري معروفة (من حسابات مستوي القصر) ، أي يمكن معرفة عدد اللفات ، متوسط قطر الملفات ، مساحة مقطع السلك ، قطر الكابل الخارجي .

مع ملاحظة انه يجب الا يقل قطر الملفات عن ١٠ - ١٢ مرة القطر الخارجي للكابل طبقا لمواصفات مصنعي الكابلات .



معامل الحث (الممانعة بالميكروهنري

كابل مفرد القطب

متوسط قطر الملفات م

قطر الكابل الخارجي م	مساحة المقطع مم٢	٥ لفات ٨٠	٥ لفات ١٠٠	٥ لفات ١٦٠	٥ لفات ٢٠٠	٥ لفات ٢٥٠	٥ لفات ٣٠٠	١٠ لفات ٨٠	١٠ لفات ١٠٠	١٠ لفات ١٦٠	١٠ لفات ٢٠٠	١٠ لفات ٢٥٠	١٠ لفات ٣٠٠
٦ر٤	١ر٥	٣ر١	٣					٥ر٩	٨ر٥				
٦ر٨	٢ر٥	٣ر١	٢ر٩					٥ر٧	٨ر٢				
٧ر٢	٤	٣	٢ر٨					٥ر٤	٧ر٩				
٨ر٢	٦		٢ر٦	٤ر٥					٧ر٢	١٥ر٦			
٩ر٢	١٠		٢ر٥	٥ر١					٦ر٧	١٤ر٦			
١٠ر٥	١٦		٢ر٣	٤ر٨	٦ر٦				٦ر١	١٣ر٤	١٩ر٣		
١٢ر٥	٢٥			٣ر٤	٦ر١					١٢	١٧ر٣		
١٢ر٥	٣٥			٤ر١	٥ر٩	٨ر٢				١١ر٤	١٦ر٥	٢٣ر٧	
١٥	٥٠			٣ر٩	٥ر٥	٧ر٨	١٠ر٢			١٠ر٦	١٥ر٤	٢٢ر٢	٢٩ر٨
١٧	٧٠				٥ر٢	٧ر٣	٩ر٦				١٤ر١	٢٠ر٥	٢٧ر٦
١٩	٩٥				٤ر٨	٦ر٩	٩ر١				١٣ر١	١٩ر١	٢٥ر٨
٢٣	١٥٠					٦ر٢	٨ر٢					١٦ر٧	٢٢ر٧
٢٨ر٥	٢٤٠						٧ر٢						١٩ر٦

قطر الكابل الخارجي م	مساحة المقطع مم٢	١٥ لفة ٨٠	١٥ لفة ١٠٠	١٥ لفة ١٦٠	١٥ لفة ٢٠٠	١٥ لفة ٢٥٠	١٥ لفة ٣٠٠	٢٠ لفة ٨٠	٢٠ لفة ١٠٠	٢٠ لفة ١٦٠	٢٠ لفة ٢٠٠	٢٠ لفة ٢٥٠	٢٠ لفة ٣٠٠
٦ر٤	١ر٥	١٠ر٢	١٥					١٥	٢٢				
٦ر٨	٢ر٥	٩ر٧	١٤ر٣					١٤	٢١				
٧ر٢	٤	٩ر٣	١٣ر٧					١٣	٢٠				
٨ر٢	٦		١٢ر٥	٢٧ر٩					١٨	٤١			
٩ر٢	١٠		١١ر٤	٢٥ر٨					١٦	٣٨			
١٠ر٥	١٦		١٠ر٣	٢٣ر٥	٣٤ر٣				١٥	٣٤	٥١		
١٢ر٥	٢٥			٢٠ر٧	٣٠ر٨					٣٠	٤٤		
١٢ر٥	٣٥			١٩ر٥	٢٨ر٨	٤٢ر١				٢٨	٤٢	٦٢	
١٥	٥٠			١٨	٢٦ر٧	٣٩ر١	٥٣ر٢			٢٦	٣٩	٥٧	٧٩
١٧	٧٠				٢٤ر٣	٣٥ر٨	٤٨ر٩				٣٥	٥٢	٧٢
١٩	٩٥				٢٢ر٣	٣٣	٤٥ر٢				٣٤	٤٨	٦٦
٢٣	١٥٠					٢٨ر٦	٣٩ر٤					٤١	٥٧
٢٨ر٥	٢٤٠						٣٣ر٤						٤٨

قطر الكابل الخارجي م	مساحة المقطع مم٢	٢٥ لفة ٨٠	٢٥ لفة ١٠٠	٢٥ لفة ١٦٠	٢٥ لفة ٢٠٠	٢٥ لفة ٢٥٠	٢٥ لفة ٣٠٠	٣٠ لفة ٨٠	٣٠ لفة ١٠٠	٣٠ لفة ١٦٠	٣٠ لفة ٢٠٠	٣٠ لفة ٢٥٠	٣٠ لفة ٣٠٠
٦ر٤	١ر٥	١٩	٢٩					٢٤	٣٦				
٦ر٨	٢ر٥	١٨	٢٨					٢٣	٣٤				
٧ر٢	٤	١٨	٢٦					٢٢	٣٣				
٨ر٢	٦		٣٤	٥٥					٢٩	٦٩			
٩ر٢	١٠		٣٢	٥٠					٢٧	٦٣			
١٠ر٥	١٦		١٩	٤٥	٦٨				٢٤	٥٧	٨٥		
١٢ر٥	٢٥			٣٩	٥٩					٤٩	٧٤		
١٢ر٥	٣٥			٣٧	٥٥	٨٣				٤٦	٦٩	١٠٤	
١٥	٥٠			٣٤	٥١	٧٦	١٠٥			٤٢	٦٤	٩٥	١٣٢
١٧	٧٠				٤٦	٦٩	٩٦				٥٧	٨٦	١٢٠
١٩	٩٥				٤٢	٦٣	٨٨				٥٢	٧٨	١١٠
٢٣	١٥٠					٥٤	٧٥					٦٧	٩٤
٢٨ر٥	٢٤٠						٦٣						٧٨

٤ - ٤ صيانة المكثفات

تحتاج المكثفات لصيانة دورية بسيطة وسهلة ، عبارة عن عمل نظافة للمكثف واحكام ربط لأطرافه ، علما بأن الحرارة الناتجة عن عدم احكام ربط الوصلات قد تتسبب فى اتلاف المكثف .

قبل ادخال المكثفات فى الخدمة ، يجب اجراء تفريغ شحناتها بوساطة جهاز خاص بالتفريغ. ولايتم التفريغ عن طريق عمل قصر بين طرفى المكثف حيث يتسبب هذا فى انهيار المكثف وإنما فى مقاومة تفريغ خاصة ، كذلك يجب مراعاة اجراء تفريغ شحنة المكثف قبل نقله من مكان إلى آخر .

كيف تتأكد من صلاحية مكثف ؟

يمكن التأكد من صلاحية مكثف عن طريق أقوميتر يعمل بالبطارية كالآتى :

- المكثف السليم يشير إلى دائرة قصر عند بداية توصيل أطرافه بالأقوميتر ،ثم تبدأ قيمة المقاومة ترتفع تدريجيا حتى تصل إلى قيمة ثابتة ، والتى عندها يتساوى جهد بطارية الاقوميتر مع جهد شحن المكثف .

- المكثف السليم يعطى مقاومة لانهائية بين كل طرف والارض من أو ل مرة .

٤ - ٥ اعطال لوحة المكثفات

١ - اعطال المكثفات

العطل	السبب	العلاج
كسر أو انهيار العزل	أ - جهد زائد	أ - مراجعة جهد الشبكة الكهربية .
	ب - الجهود المفاجئة الناتجة من عمليات الفصل والتوصيل أو الصواعق	ب - دراسة اضافة أجهزة حماية
	جـ - يكون المكثف من بعض الانواع التى لاتستخدم فى التيار المتغير	جـ - مراجعة التطبيقات
	د - الرطوبة - الصدأ - ارتفاع درجة الحرارة	د - وضع وحدات خاصة - الحفاظ على الصيانة الدورية
	هـ -استمرارية الجهد على وحدة ذات مفتاح متقطع	هـ - تركيب وحدة مناسبة لحالة التشغيل
	و - انهيار ميكانيكى	و - تغيير المكثف
	ز - أقطاب معكوسة فى وحدة تيار مستمر	ز - تغيير المكثف ، ثم تعديل وضع الأقطاب

١ - اعطال المصهرات

العطل	السبب	العلاج
انصهار سريع	أ - حد تيار المصهر صغير جدا	أ - استخدام المصهر المناسب
	ب - حدوث سخونة على اطراف غطاء المصهر أو صدأ أو اكسدة عند الغطاء أو الماسك	ب - نظافة الغطاء والماسك بصفة مستمرة ، مع تغيير الماسك المغير
	جـ - عدم وجود الضغط المناسب على التلامس	جـ - زيادة ضغط التلامس بحيث يصبح كافيا
انصهار بطئ	أ - حد تيار المصهر غير مناسب	أ - استخدام القيمة المناسبة

٤ - ٦ المواصفات الفنية الخاصة بالمكثفات

تستخدم معدات تحسين معامل القدرة لأى شبكة كهربائية لتحسين معامل القدرة من ٥ ر٠ إلى ٩٨ر٠ تقريبا ، وذلك بتوصيل المكثفات آليا على مراحل بوساطة جهاز ذى حساسية للقدرة غير الفعالة ، أو ذى حساسية لمعامل القدرة ، أو الاثنين معا .

تحتوى خلية المكثفات على : مكثفات القدرة - مقاومات تفريغ - ملفات كبح - قواطع تيار - مصهرات ذات سعة قطع عالية - مفتاح تلامس - أجهزة تحكم - أجهزة قياس .

لاختيار لوحات المكثفات اللازمه يجب امداد المورد بالمعلومات الاتيه :

١ - قيمة القدرة غير الفعالة المطلوبة

٢ - قيمة الجهد المقنن - التردد - عدد الأوجه

٣ - القيمة المتوقعة للزيادة فى الجهد

٤ - نوع الاحمال الصناعية

٥ - اقصى حدود لدرجات الحرارة . ويمكن الرجوع للجدول الآتى .

أقصى حدود لدرجات الحرارة (درجة مئوي)	اقصى درجة حرارة محيطة (درجة مئوية)		
	المتوسط بعد ساعه	المتوسط بعد٢٤ ساعه	المتوسط بعد سنة
٤٠	٤٠	٣٠	٢٠
٤٥	٤٥	٣٥	٣٠
٥٠	٥٠	٤٥	٣٥

تتحمل المكثفات ذات مستوى درجة الحرارة ٤٥° م الاجواء الاستوائيه بكفاءه ومع ذلك يجب مراعاة عدم تعرض المكثفات لأشعة الشمس المباشرة للحفاظ على حرارتها المنصوص عليها بالمواصفات .

٦ - موضع تركيب المكثفات اما داخل المبنى أو خارجه .

٧ - طبيعة مصدر التغذية ، هل المكثفات متصلة :

أ - بمحطة محولات محلية . فى هذه الحالة يجب معرفة القدرة المقننه (كيلوڤولت أمبير) لهذه المحولات

ب - بشبكةأرضية محلية أو خطوط هوائية

٨ - إذا كان توصيل المكثفات مباشرة مع محرك فانه يجب معرفة الخصائص الدقيقة عن المحرك . مع مراعاة ألا يتعدى التيار المقنن للمكثف ٩٠ ٪ من تيار المغنطه للمحرك.

٩ - يجب معرفة نوع مبدئى الحركة المستخدم مع المحركات

١٠ - أية حالات غير عادية - مثل تركيب المكثفات فى جو يساعد على الصدأ

المواصفات الفنيه لمكثفات الجهد المنخفض

أ - يجب ان تنص المواصفات على حالة الجو المحيط

- أقصى درجة حرارة للجو خارج المبنى ٤٥ - ٥٠°م
- الرطوبة النسبية ١٠ - ١٠٠ ٪
- جو مملوء بالاتربة
- جو مشبع بالاملاح

ب - البيانات الفنيه :

١ - الجهد المقنن للتشغيل (v_n)

قيمة جذر متوسط مربعات الجهد ٢٢٠ / ٣٨٠ ڤولت - ثلاثية الاوجه

٢ - التردد المقنن (f_n) ٥٠ هرتز

٣ - مفاقيد العزل

يعبر عن القدرة المفقودة بالمكثفات بالوات / كيلو ڤار (أو ظل الزاويه δ)

وتكون أقل من أو تساوى ٥ ر٠ وات / كيلو ڤار

٤ - الالتآم الذاتى

من الخصائص الكهربائية الهامة للمكثفات اعادة الالتآم بعد الانهيار فى العزل .

٥ - درجة الحرارة

حدود درجة الحرارة - ٢٥/+٤٥° م

٦ - أقصى جهد مسموح به للمكثفات

تتحمل المكثفات ١٠ ٪ جهد زائد عن الجهد المقنن للتشغيل .

جـ - مكونات لوحة المكثفات

١ - المكثفات

يجب أن تكون من النوع الجاف داخل وعاء محكم ، وتحتوى على مقاومات لتفريغ الشحنه، للوصول إلى جهد أقل من أو يساوى ١٠ ٪ من قيمة الجهد المقنن للتشغيل .

٢ - المصهرات ذات سعة القطع الكبيرة

تستخدم لحماية المكثفات من الاعطال المختلفة ويعتمد التيار المقنن للمصهرات على التيار المقنن للمكثفات المستخدمة ، أما سعة قطع المصهر فتكون اكبر من أو يساوى ١٠٠ كيلو أمبير .

٣ - قواطع التحكم الهوائية (مفاتيح التلامس)

يراعي ان توضع مواصفات القواطع حسب قيمة مرحلة المكثفات المتصلة به ، مع مراعاة أن يكون جهد ملف القاطع ٢٢٠ ڤولت تيار متردد

٤ - جهاز تحكم

جهاز تحكم ذو حساسية عالية للتغيير فى قيمة القدرة غير الفعالة ، حيث يمكن الحصول منه على تشغيل عدد معين من المراحل آليا ، ويكون حدود تحسين معامل القدرة من ٥ر. -٩٨ر.

٥ - خلية المكثف

تصنع الخلية من هيكل معدنى ملحوم ، مصنوع من الصلب ، لايقل سمكه عن ٢ مم تحتوى الخلية على حوامل لتثبيت المكثفات ، قواطع التيار ، المصهرات ، المفاتيح الهوائية ، وكذلك أجهزه التحكم . يجب معالجة جسم الخلية ضد الصدأ قبل دهانه ببوية الفرن كما تحتوى الخلية على قضبان توزيع رئيسية مصنوعة من النحاس .

٦ - قاطع التيار

يحدد التيار المقنن لقواطع التيار تبعا لقدرة وحدة المكثفات المتصلة به . بينما تكون سعة القطع لاتقل عن ٣٠ كيلو أمبير . يتحمل قاطع التيار حالات الجهود المفاجئة الناتجة عن عمليات الفصل والتوصيل - جهد العزل ١٠٠٠ ڤولت لجميع قيم القواطع .

الاختبارات اللازم أجراؤها على المكثفات

١ - الفقد فى المكثفات .

٢ - الاستقرار الحرارى .

٣ - الاختبارات بين الاطراف والوعاء :

- أختبار جاف بتيار متردد
- أختبار رطب بتيار متردد
- أختبار نبضى

٤ - أختبار تفريغ الشحنة
٥ - أختبار تأين (تفريغ شحنة جزئى)

المواصفات القياسية الخاصة بالمكثفات

المواصفات القياسية العالمية	IEC 831 - 1 , 2 IEC 871 IEC 439
المواصفات الالمانية	VDE 0560 / 73 VDE 0660 part 500
المواصفات البريطانية	BS 1650
المواصفات الامريكية	ASA C 551
المواصفات الفرنسية	C 54.104


ملاحــق

ملحق رقم (١)

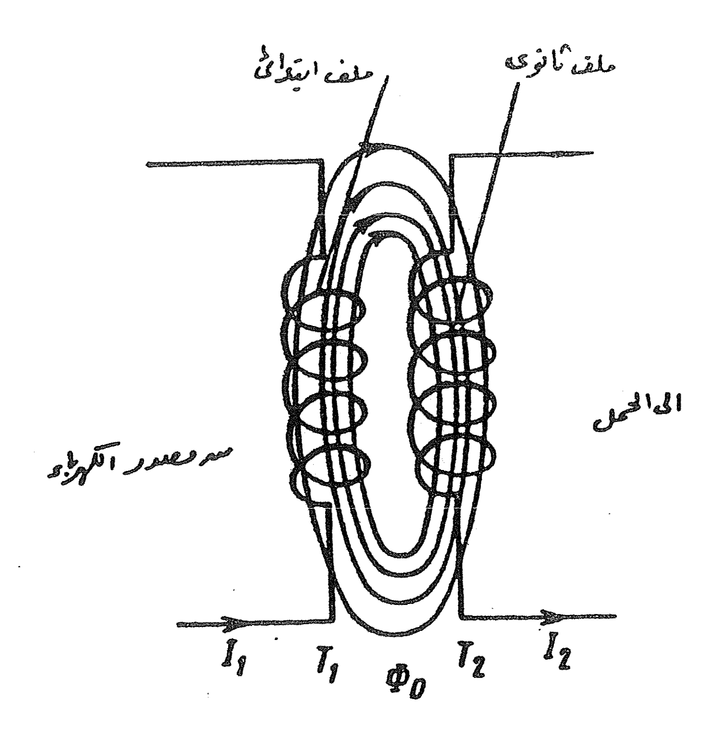
محولات القدرة *Power Transformers*

محول القدرة الكهربية عبارة عن جهاز يستخدم لخفض أو رفع الضغط (الجهد) الكهربى - لكمية من القدرة الكهربائية - (جزء من هذه القدرة يفقد فى شكل طاقة حرارية) .

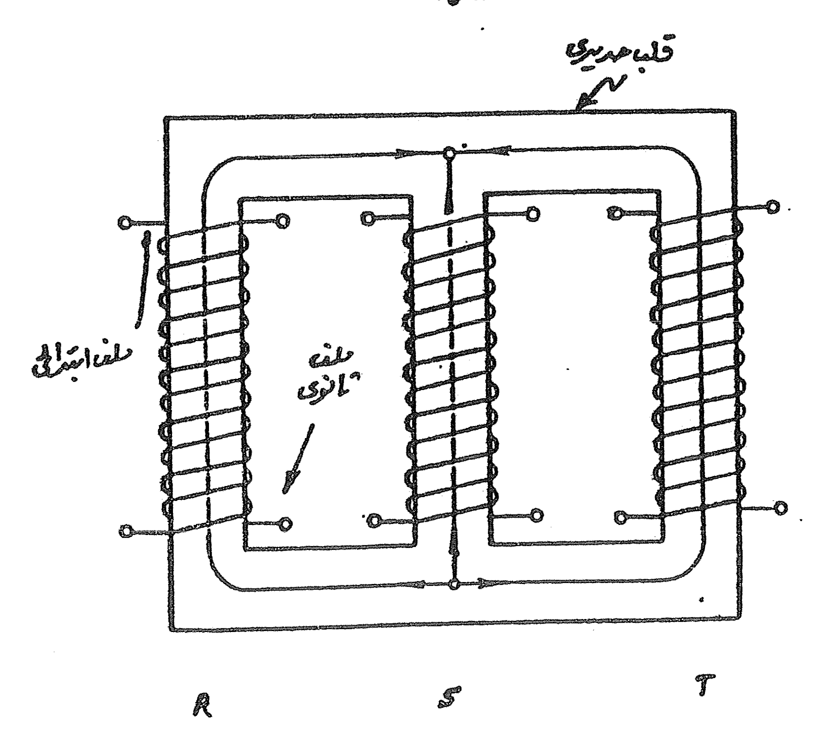
يحتوى محول القدرة على دوائر كهربية ودوائر مغناطيسية ، وتسرى الطاقة الكهربية فى الدوائر الكهربية بفعل تشابك الخطوط المغناطيسية بهذه الدوائر . يتكون المحول من ملفين كل منهما معزول عن الآخر كهربيا ، بحيث يكوّن دائرة كهربائية مستقلة - يوصل أحد الملفين بمصدر الكهرباء - المراد تحويل ضغطه - ويسمى بالملف الابتدائى ، ويوصل الملف الآخر بالحمل ، ويسمى بالملف الثانوى ، شكل (١) .

وفكرة عمل المحول تعتمد على نظرية التأثير المتبادل بين الملفين ، من حيث أن الفيض المغناطيسى - الناشئ عن مرور تيار الينبوع فى الملف الابتدائى ، حول هذا الملف - يمكن أن يتشابك مع الملف الثانوى ، فيولد فيه قوة دافعة كهربية يتم عن طريقها نقل بعض القدرة الكهربائية الى الحمل الموصل على طرفى الملف الثانوى . ويكون نقل القدرة الكهربية من الملف الابتدائى الى الملف الثانوى عن طريق المجال المغناطيسى الذى يتمثل فى الفيض المغناطيسى المتبادل (*Mutual Magnetic Flux*) المتشابك تماما مع كل من الملفين - يتم وضع الملفين - الثانوى والابتدائى - على قلب حديدى واحد ، تكون معاوقته المغناطيسية صغيرة جدا بالنسبة لمعاوقة مسار الخطوط المغناطيسية فى الهواء ، بحيث يتركز سير هذه الخطوط فى القلب الحديدى ، فيما عدا نسبة ضئيلة جدا تتوقف قيمتها على مدى تشبع هذا القلب بالخطوط ، ويطلق عليها اسم الفيض المغناطيسى المتسرب (Leakage Flux)) شكل رقم (٢)

ومن عيوب وجود القلب الحديدى أنه يتسبب فى حدوث المفاقيد الحديدية ، التى تنشأ بداخله ، وذلك نتيجة المجالات المغناطيسية المترددة - حيث أن المحول لايمكن ان يعمل الا مع الجهود والتيارات المترددة ، وهى التى يمكن أن يتم حدوث تأثير متبادل فى وجودها .ويمكن تقليل المفاقيد الحديدية بقدر الامكان بتصنيع القلب الحديدى من رقائق من الحديد معزولة عن بعضها البعض ، كما هو مبين فى شكل (٣) .


ملف ابتدائي
ملف ثانوي
الى الحمل
من مصدر الكهرباء
I_1
T_1
Φ_0
T_2
I_2

شكل(١)


قلب حديدي
ملف ابتدائي
ملف ثانوي
R
S
T

شكل(٢)

هذا ، ويوجد نوعان من المحولات :

١ - المحول ذو القلب *Core Type Transformer*

عبارة عن ساق لكل وجه يوضع عليها الملفات (اسطوانية) ، شكل (٣)

٢ - المحول الهيكلى *Shell Type Transformer*

مقطع الساق فى هذه الحالة يكون مستطيل الشكل وكذلك الملفات تكون مستطيلة الشكل، شكل (٤) .

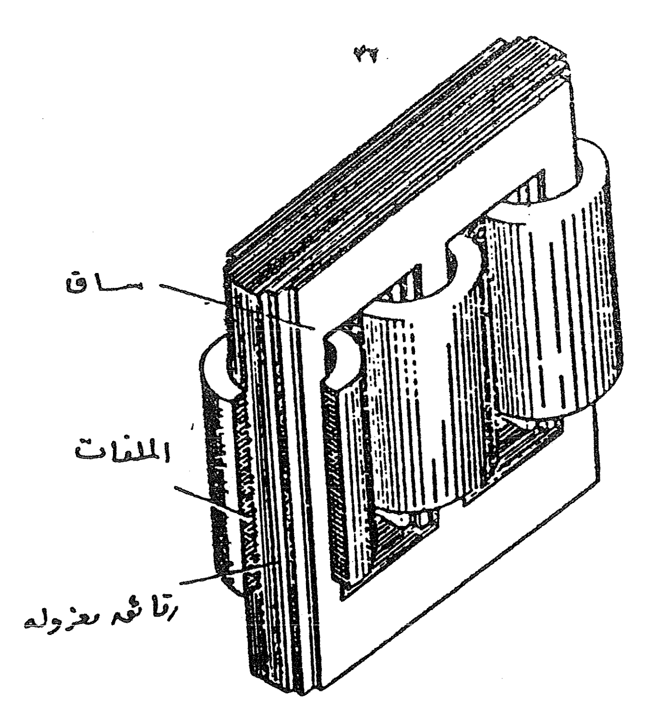
ولايوجد أى فرق فى الخواص الكهربائية الرئيسية لهذين النوعين ، ولكن يكون الاختلاف فى إعداد الملفات ، وترتيبها على القلب الحديدى ، ومسار الفيض المغناطيسى فى كل منهما ، وبعض الخواص الميكانيكية من ناحية القوى المؤثرة على الملفات عند حدوث دائرة قصر فيها .

تعريف

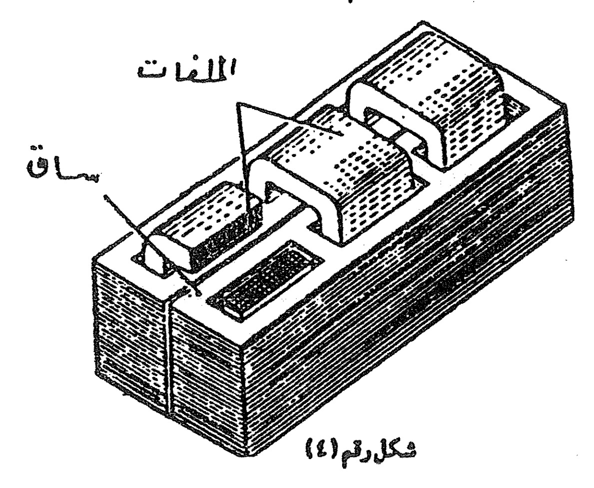
تيار اللاحمل:

يعرف تيار اللاحمل بأنه التيار المار بالملف الابتدائي لمحول القدرة ، عندما يكون الملف الثانوى مفتوحا .

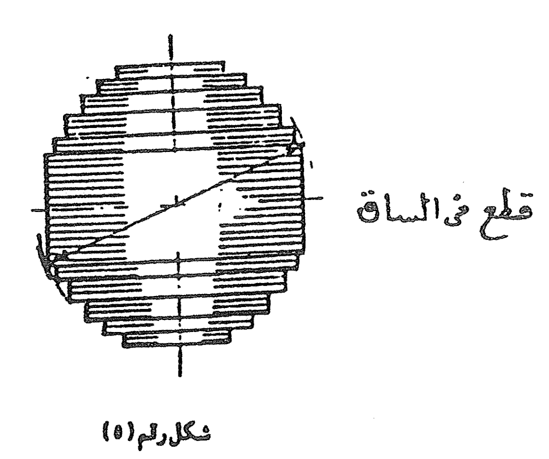
معامل القدرة لتيار اللاحمل حوالى ١ر. متأخر . هذا التيار لازم لمغنطة القلب الحديدى ، كما أنه يكون مصدرا للفقد فى القلب الحديدى .



شكل رقم (٣أ)



شكل رقم (٤)



شكل رقم (٥)

ملحق(٢)

المحركات التأثيرية *Induction motors*

تنقسم المحركات التأثيرية إلى

أ - محركات التيار المتردد ذات ثلاثة الأوجه : وهذه تنقسم بدورها إلى :

١ - محركات تأثيرية ثلاثية الأوجه ذات قفص سنجابى (ذات عضو دائرمقفل)

(Squirrel Cage Motors)

٢ -محركات تأثرية ثلاثية الأوجه ذات حلقات انزلاقية (ذات عضو دائر ملفوف)

(Slip Ring Motors)

ب - محركات التيار المتردد ذات الوجه الواحد : وهذه تشمل الانواع الآتية :

١ - محركات تأثيرية ذات وجه واحد ، ذات قفص سنجابى

(Single - Phase Squirrel Cage Motors)

٢ - محركات ذات الاقطاب المظللة *(Shaded Pole Motors)*

٣ - محركات هيلاند *(Heyland Motors)*

وفيما يلى موجزا عن كل نوع :

١ - محركات تأثيرية ثلاثية الأوجه ذات قفص سنجابى (ذات عضو دائر مقفل)

3 - Phase Squirrel Cage Motors

يتركب المحرك من :

- عضو ثابت على شكل أسطوانة مجوفة كما فى شكل (٦) يشتمل سطحها الداخلى على مجارى تحتوى على الملفات ، وتلف هذه الملفات ثلاثية الأوجه ، بحيث تنتشر على السطح وبين كل منها ١٨٠ درجة كهربية . وينشأ عن هذه الدوائر الثلاثة مجال مغناطيس بعدد زوجى من الاقطاب $(2p)$ (تساوى ٢ أو ٤ أو ٦ ...) ويدور هذا المجال حول الثغرة الهوائية للمحرك بسرعة التزامن n_s التى يربطها مع عدد ازواج الاقطاب (p) التردد $F=\frac{pn_s}{60}$ بحيث يحدد عدد الاقطاب سرعة دوران المحرك - فاذا كان عدد الاقطاب (٢) كانت سرعة تزامن الآلة ٣٠٠٠ لفة/دقيقة عند تردد ٥٠ هرتز وإذا كان عدد الاقطاب ٤ كانت السرعة ١٥٠٠ لفة /دقيقة ، إلخ

إلخ ....هذا وتكون سرعة دوران المحرك n أقل قليلا من سرعة التزامن n_s، وذلك بمقدار الانزلاقS الذى يحدد من العلاقة

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

- عضو دائر على شكل قفص سنجابى يمثل دائرة قصر وهو مقفل وليس له أطراف خارجية، كما فى شكل(٧).

يتم توصيل العضو الثابت للمحرك بالينبوع لبدء المحرك بأحدى الطرق الآتية :

- التوصيل المباشر
- التوصيل من خلال مقاومات موصلة على التوالى مع ملفات العضو الثابت .
- توصيل ملفات خانقة على التوالى مع ملفات العضو الثابت .
- التوصيل مع الينبوع من خلال محول ذاتى *(Autotransformer)*

-توصيل الملفات مع الينبوع على شكل نجمة ، ثم اعادة توصيلها دلتا عندما تصل سرعة دوران المحرك إلى حوالى ٧٥ ٪ من السرعة المتزامنة (طريقة البدء نجمة / دلتا - *(Star - Delta Starting* ، كما فى شكل (٩)

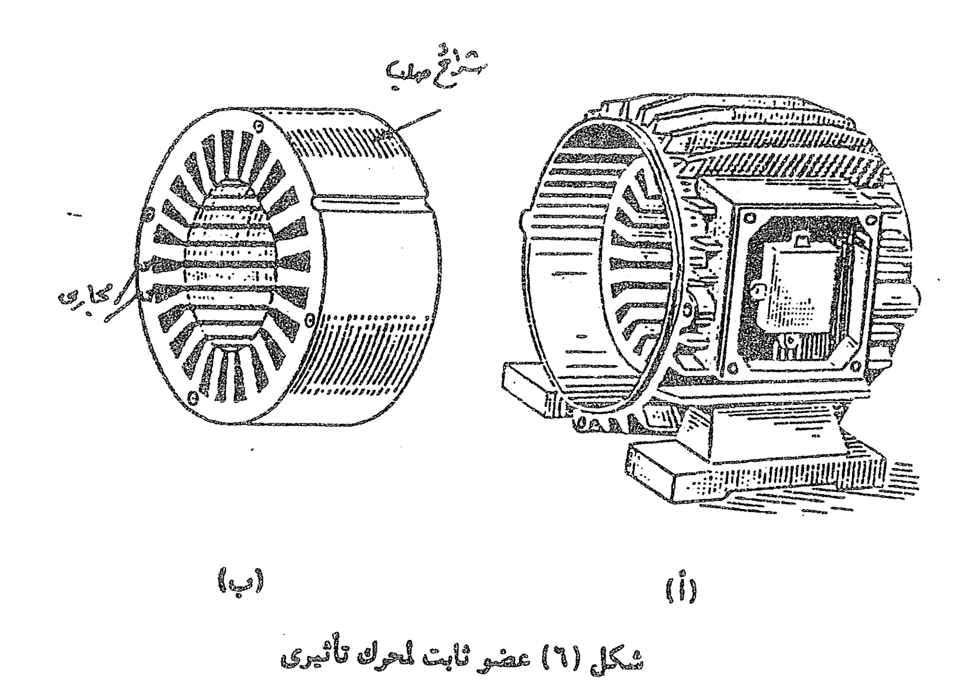
٢ - محركات تأثيرية ثلاثية الأوجه ذات عضو دائر ملفوف

(*3 - Phase Wound - Rotor Motors)*

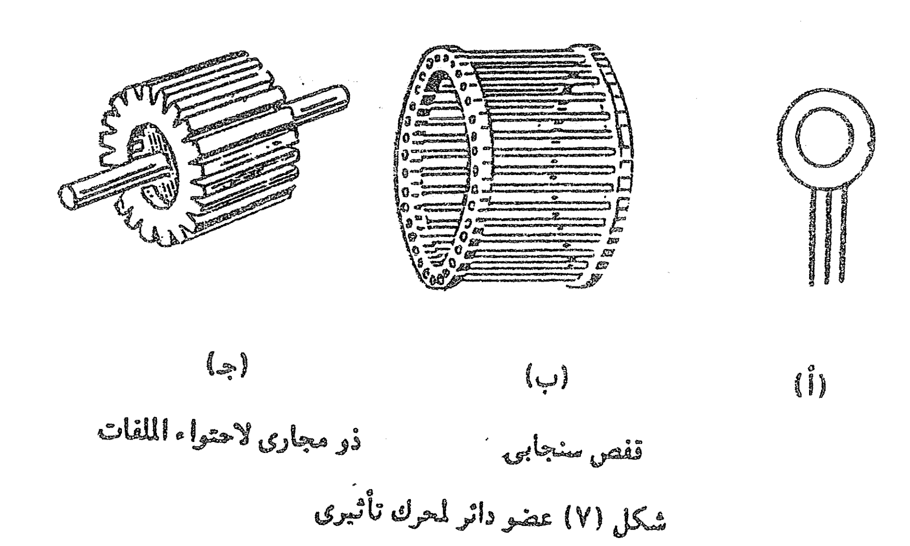
يتركب المحرك من :

- عضو ثابت : (كما فى المحرك التأثيرى ذى القفص السنجابى)

- عضو دائر على شكل أسطوانة مثبتة على عامود الادارة ، يحتوى سطحها الخارجى على مجارى ، توضع فيها ملفات تتصل أطرافها بلفات أنزلاقية ، مثبتة على عمود الادارة ومعزولة عنه . ولايتم تولد عزم دوران عند توصيل ملفات العضو الثابت إلى الينبوع ، إلا إذا أغلقت أو قصرت دوائر ملفات العضو الدائر ، عندما تمر بها تيارات ناشئة عن القوى الدافعة الكهربية المنتجة بالتأثير ، بفعل الحركة النسبية (المترتبة على فرق السرعتين n, n_s) بين المجال المغناطيسى ، الذى يدور فى الثغرة الهوائية ، وهذه الملفات . وتوصل ملفات العضو الدائر إلى الحلقات الانزلاقية ، التى ترتكز عليها فرش ، تعمل على توصيل أطراف هذه الملفات

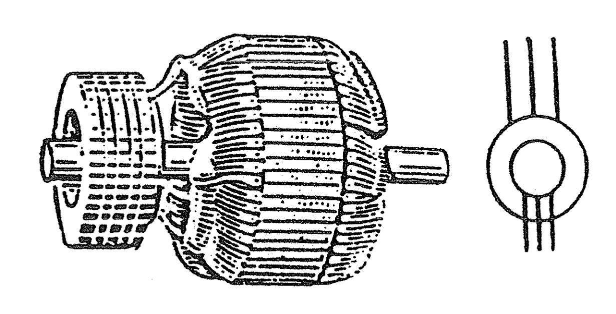


شكل (٦) عضو ثابت لمحرك تأثيرى



ذو مجارى لاحتواء الملفات   قفص سنجابى

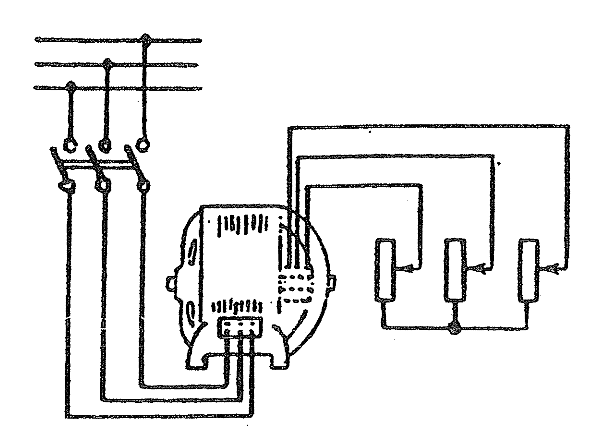
شكل (٧) عضو دائر لمحرك تأثيرى



(ب) (أ)

توصيل العضو الدائر

الملفوف إلى الحلقات الانزلاقية



(جـ)

توصيل الملفات الانزلاقية إلى

مقاومات البدء الموصلة على شكل نجمه

شكل (٨)

بالدائرة الخارجية عند دوران هذا العضو الدائر. وتشتمل الدائرة الخارجية على مقاومات البدء الموصلة على شكل نجمة ، والتى يتم قصرها تدريجيا كلما زادت سرعة المحرك ، حتى يتم قصرها عندما يصل المحرك إلى سرعته المعتادة ، حيث تصبح ملفات العضو الدائر مقصورة عبر الفرش مباشرة - وعند بدء التشغيل ، عندما تكون أفرع المقاومات الثلاثة متصلة مع ملفات الاوجه الثلاثة ، فان هذا يقلل من اندفاع التيار فى ملفات العضو الثابت ويحد من قيمته ، كما فى شكل (٨)

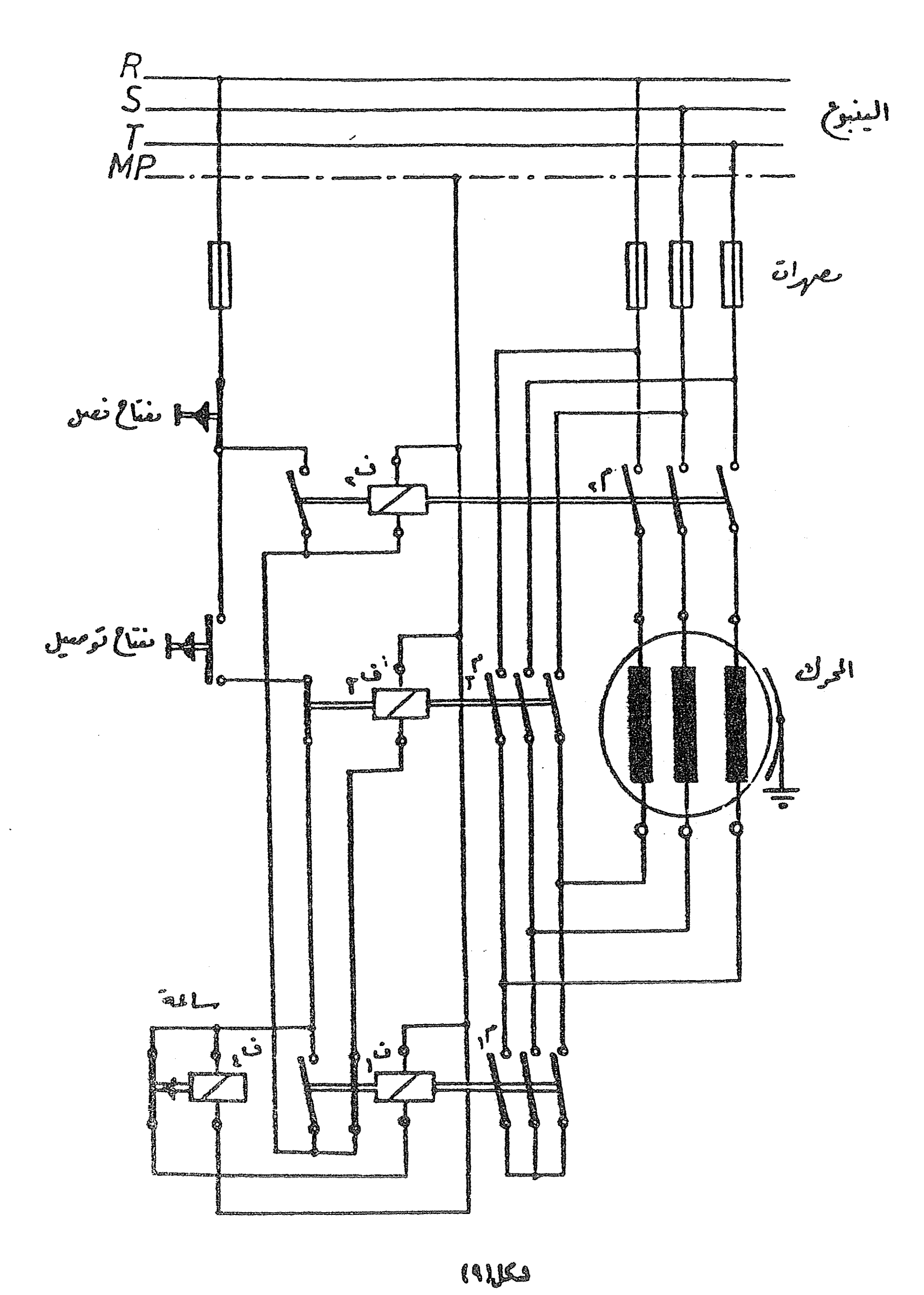
٣- محركات العيار المتردد ذات الوجه الواحد

(Single - Phase Induction Motors)

تكون هذه غالبا أنواعه صغيرة القدرة فى حدود جزء من الحصان - ويشبه المحرك التأثيرى احادى الوجه فى تكوينه المحرك التأثيرى ذا القفص السنجابى ، ثلاثى الوجه ، فيما عدا أن ملفات العضو الثابت تكون أحادية الوجه بدلا من ثلاثية الأوجه .

نجد فى الحياة العملية أن المحركات التأثيرية احادية الوجه ذات استخدامات كثيرة مثل ما يستخدم منها فى المراوح ، والمضخات ذات الطرد المركزى وبعض أجهزة المكاتب ، والثلاجات ، وأجهزة التكييف .

المحركات ذات الاقطاب المظللة تستخدم فى لعب الاطفال وبعض المراوح ، وهى ذات قدرات صغيرة جدا ، قد تصل إلى $\frac{١}{٢٠}$ من الحصان .



شكل (١٩١)

الدائرة الكهربية لمحرك تأثيرى ذى قفص سنجابى ثلاثى الاوجه

ملحق (٣)

اللحام الكهربى Electric Welding

ينقسم اللحام الكهربى الى :

١ - لحام المقاومة Resistance Welding

يعتمد لحام المقاومة على حدوث حرارة عند نقطة اللحام نتيجة مرور تيار كبير على جهد منخفض لزمن محدد - جهد الحمل يكون حوالى ٢ ڤولت ، وجهد الدائرة المفتوحة يكون أقل من ١٢ ڤولت ، وللحصول على لحام سريع يكون التيار حوالى ٥٠٠٠ أمبير .

هناك أنواع مختلفة من لحام المقاومة منها :

أ - اللحام التناكبى Butt Welding

يتم توصيل المادة المراد لحامها كما فى شكل (١٠) فيمر تيار الملف الثانوى لمحول اللحام خلال المادة ، وتكون الحرارة الناتجة I^2RT حيث I التيار، R مقاومة الوصلة بالأوم، T زمن اللحام ، وبهذا نجد أن الحرارة تصهر المادة .

يكون التحكم فى التيار ، الجهد ، الزمن اما آليا أو يدويا ويفضل التحكم الآلى فى ورش الانتاج الكبيرة .

فى حالة استخدام لحام تناكبى ومضى (Flash Butt - Welding) يتم وضع الجزئين المراد لحامهما متقاربين ، وتمسك الاطراف بضغط ضعيف - يمر التيار عند جهد منخفض خلال الوصلة فيصهر القوس ، أو الوميض ، طرفى الوصلة، وتلحم تحت الضغط .

يستخدم اللحام التناكبى أو اللحام التناكبى الومضى للحام : قضبان سكة حديد - مواسير - أسلاك - قضبان .

ب - لحام نقطى Spot Welding

شكل (١١) يوضح فكرة اللحام النقطى ، ويستخدم للحام وصلات أو ألواح متراكبة (Overlapping Sheets) ، وذلك بمرور تيار نبض (Impulse) خلال الألواح ، التى تلحم تحت ضغط، ثم تبرد . ويتغير مقاس قطر نقطة اللحام من ٦ - ١٥ مم ، كما يعتمد زمن تيار اللحام على سمك الألواح ،ونوع المادة المستخدمة ، فنجد أن لألواح الصلب الدقيقة يكون زمن مرور التيار حوالى $\frac{١}{٥٠}$ ثانية (دورة واحدة) لكل ٠٫٢٥ مم (مجموع سمك اللوحين عند نقطة اللحام).

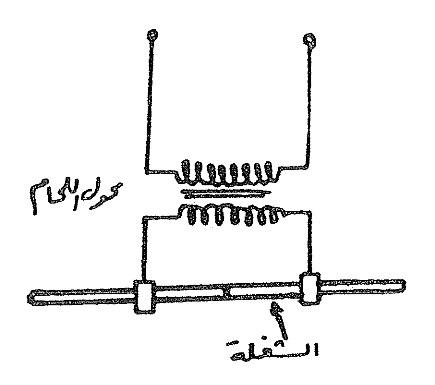
فمثلا لسمك حوالى ٣ مم تستخدم نبضة تيار واحدة ، أما للألواح السميكة فيستخدم عددمن نبضات التيار ، للتغلب على ارتفاع حرارة الأقطاب

جـ - لحام درزى *SeamWelding*

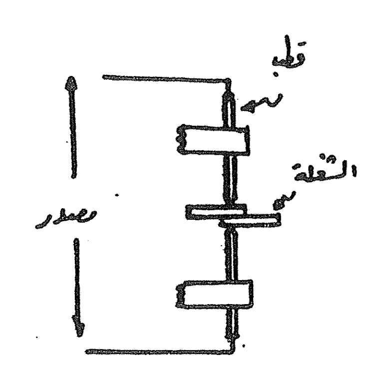
اللحام الدرزى عبارة عن تطور لعمليات اللحام النقطى . وهو عبارة عن عمليات لحام متراكبة متكررة تعطى عملية لحام مستمر . تستخدم حوالى ٥ عمليات لحام / سم ، حيث تستخدم اقطاب اسطوانية تبرد بالهواء و تكون سرعة اللحام من ٢٥ سم / الدقيقة الى ١٠ متر/ الدقيقة ، علما بان جميع العمليات تتم آليا وتستخدم بتوسع فى صناعات المواسير والأنابيب.

٢ - اللحام بالقوس الكهربى *Electric Arc Welding*

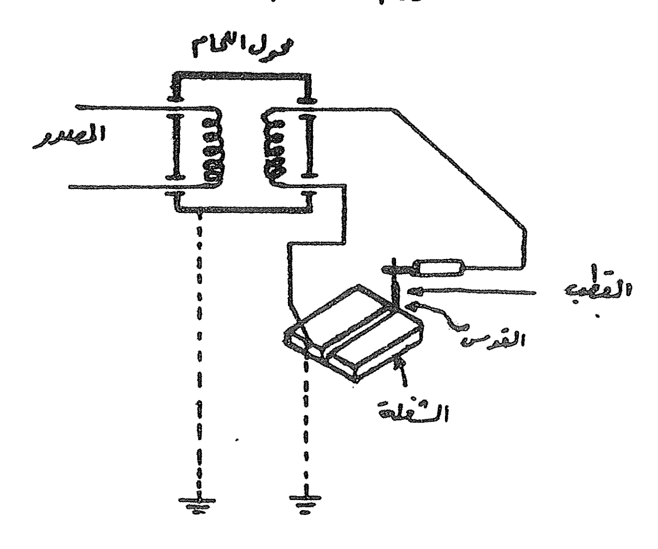
شكل (١٢) يمثل دائرة اللحام بالقوس الكهربى يتم اللحام بهذه الطريقة بواسطة مرور تيار على جهد منخفض يحدث قوس كهربى بين القطب والجزء المراد لحامه . حرارةالقوس تصهر القطب الذى يترسب عند الوصلة.وفى ماكينات اللحام الآلية يتروح جهد القوس بين ٢٠ - ٤٠ ڤولت ، بينما يكون التيار بين ٥٠ الى ١٠٠٠ امبير .



شكل (١٠) اللحام التناكبي



شكل رقم (١١) اللحام النقطي



شكل (١٢) لحام القوس الكهربي

ملحق(٤)

الافران الكهربائية *Electric Furnaces*

الانواع شائعة الاستعمال فى صناعة الخامات غير الحديدية

١ - أفران المقاومة *Resistance Furrnaces*

تستخدم مقاومة الاسلاك للحصول على الحرارة - أقصى درجة حرارة يمكن الحصول عليها ١٠٠٠ م° - هذا الفرن مناسب لصهر الرصاص - الزنك - القصدير .

٢ - أفران الحمل *Convection Furnaces*

يتم دفع هواء ساخن للفرن عن طريق مروحة دفع ، لحمل الحرارة .

وهذه الافران تستخدم أساسا فى سحب وتقسية الصلب ، ومعالجة الالمونيوم حراريا ، وبعض المعادن الخفية الأخرى .

٣ - الأفران التأثيريه *Induction Furnaces*

شكل (١٣) يمثل فرن الحث بدون قلب . فى هذه الحالة تنصهر المادة بالتيارات الاعصارية *(Eddy Currents)* ، ويتم التبريد بالماء البارد - يتم تقليب المادة المنصهرة عن طريق القوة الدافعة الكهربية الناشئة فى المادة يكون حدود التردد من ٥٠ - ١٠٠٠ هرتز ، وجهد التشغيل من ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ ڤولت ، ويعتبر هذا الفرن غاليا نسبيا.

٤ - أفران القوس الكهربى *Arc Furnaces*

هناك نوعين من أفران القوس الكهربى

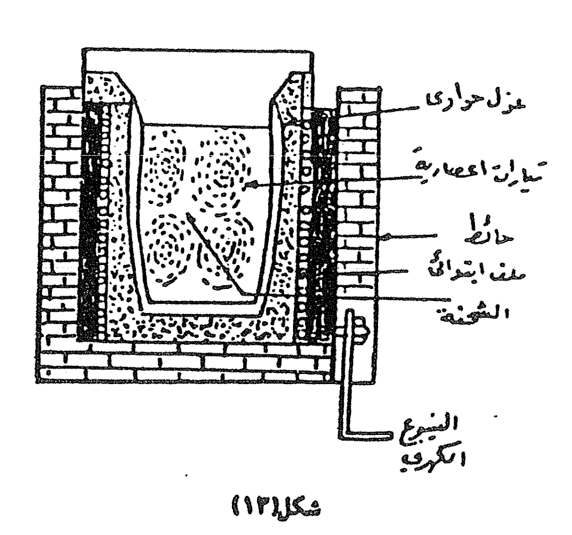
أ - فرن القوس المباشر *Direct Arc Furnaces*

شكل (١٤) يمثل فرن القوس المباشر ، وفى هذه الحالة يكون القوس ملامسا للمادة المراد صهرها - يمر تيار عالى ، عند جهد منخفض ،من قطب الى القطب الآخر خلال المادة ، حيث تعمل الحرارة الناتجة من القوس على صهر المادة المستخدمة . يمكن التحكم فى الحرارة عن طريق تغيير وضع القطبين . يمكن أن تكون الاقطاب مغمورة كلية ، أو يكون جزء منها فقط ، مغمورا بالمادة - وعموما تنتج الحرارة عن طريق مقاومة المادة التى تسمح بمرور التيار . يستخدم هذا

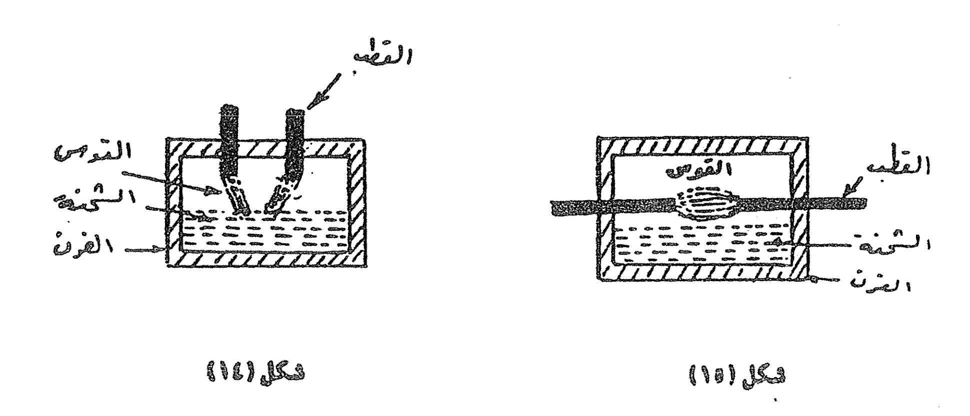
النوع من الافران فى أنتاج الصلب

ب - فرن القوس غير المباشر *Indirect Arc Furnace*

شكل (١٥) يمثل فرن القوس غير المباشر ، وفى هذه الحالة لايكون القوس ملامسا للمادة المراد صهرها - يستمر نشوء القوس بين طرفى القطبين ، وتنصهر المادة بالاشعاع الحرارى - ويتم تقليب المادة عن طريق تأرجح الفرن . يستخدم هذا الفرن لصهر المواد غير الحديدية .



شكل(١٣)



شكل(١٤)

شكل(١٥)

ملحق (٥)

المعادلات شائعة الاستخدام في المكثفات

Useful Formula Relating To Power Capacitors.

1 - Capacitance in parallel

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + ...$$

2 - Capacitance in series

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}$$

3 - Capacitive reactance

$$X_c = \frac{10^6}{2\pi fc} \quad ohm$$

4 - Capacitor current

$$I_c = \frac{E}{X_c} \quad Amp$$

5 - Voltage across capacitor

$$E = I_c X_c \quad Volt$$

6 - Var rating of capacitor

$$Vars = I_c^2 X_c = I_c V_c$$

$$Kvar = I_c^2 X_c x 10^{-3}$$

7 - For three - phase circuit

$$Kvar = 3 (I^2 X_c x 10^{-3})$$

$$Kvar = I_c V_c x 10^{-3}$$

$$I_c = \frac{2\pi fcV}{10^6} \quad Amp$$

$$Kvar = \frac{2\pi fcV^2}{10^9}$$

$$C = \frac{Kvar x 10^9}{2\pi f V^2} \quad \mu F$$

8 - Line current

$$I_c = \frac{Kvar x 10^3}{V} \quad Amp \quad Single - phase$$

$$I_c = \frac{Kvar x 10^3}{\sqrt{3} V} \quad Amp \quad Three - phase$$

9 - *Calculation of capacitor kvar required for power factor improvement.*

Capacitor Kvar = Kw (tan Φ_1 *- tan* Φ_2*)*

10 - *Transformer supplying purely capacitve load*

$$\text{volts rise \%} = \frac{\text{capacitor Kvar}}{\text{Transformor KVA}} \times \text{\% impedance of tranformer}$$

11 - *Peak value of inrush current for single capacitor*

$$I_{max} = 1.15\, I_o \left(1 + \sqrt{\frac{\text{Short-Circuit KVA}}{\text{Capacitor Kvar}}}\right)$$

12 - *Frequency of inrush current*

$$f_1 = f \sqrt{\frac{\text{Short-Circuit KVA}}{\text{Capacitor Kvar}}}$$

where

C = *Capacitance in microfarads (* μf *)*

E = *Volts across capacitor*

X_c = *Capacitive reactance (ohm)*

f = *Supply frequency (Hz)*

I_c = *Current flowing through capacitor (Amp) = Line carrent*

I = *Current flowing through capacitor (series - connection) (Amp)*

V_c = *Line voltage*

V = *Line voltage (delta - connected)*
= *Phase voltage (star - connected)*

Kw = *Three - phase Kw load*

Φ_1 = *Angle of lag before improvement*

Φ_2 = *Angle of lag after improvement*

Io = *Peak value of nominal capacitor power frequency current*

المراجع

References

1 - Power Capacitors with Internal Fuses
ASEA
Pamphlet KK - 40 - 101 E

2 - Westinghouse Electric Corporation
T & D component division
Bloomington, Indiana 47401

3 - Power Capacitor Hand Book
T Longland
T W Hut
A Brectnell
General Editor : C A Worth
First Published 1984

4 - Power Capacitors
British Insulated Callenderis Cables Limited
Norfolk House, Norfolk Street, London, W.C.2.
Puplication No. 242 A - May 1954

5 - ASEA
Reactive Power Compensation Development
S - 721 83 Vasteras Sweden
NR. May 1981

6 - KAPSCH Capacitors
Wagenseilgasse 1, A - 1121 Vienna / Austria

7 - Nokia - Metal Industries
Capacitor Division
Power Factor Correction

8 - ISOKOND
Power Capacitors
Save Electric Power and Installation Cost

9 - Power Capacitors
What they can Do
Sangamo Electric Company

10 - Power Stations and Substations
L.Bapt : danov and V. Tarasov
Peace Publishers, Moscow

11 - Electrical Power
Dr. S.L UPPAL
KHANNA Publishers, Delhi - 6 1979

١٢ - المحولات الكهربائية وآلات التيار المستمر

دكتور مهندس محمد أحمد قمر - ١٩٨٤

١٣ - مجلة الكهرباء العربية - العدد ٢٠

التسخين التأثيري - حساب مقاومات التفريغ للمكثفات

دكتور مهندس محمد أحمد قمر

14 - Switchgear and Protection
SUNIL S. RAO
1982 - Khanna publishers DELHI - 110006.

١٥ - مجلة الكهرباء العربية - العدد ١٥

توصيل المكثف للدائرة

دكتور مهندس محمد احمد قمر

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنين ﴾

المحتويات

للمؤلفة :

١ – المكثفات وتحسين معامل القدرة

٢ – المحولات الكهربائية – الجزء الاول

٣ – المحولات الكهربائية – الجزء الثانى

٤ – الوقاية فى الشبكات الكهربائية – الجزء الاول

٥ – التوافقيات فى الشبكات الكهربائية

٦ – جودة التغذية الكهربائية

جميع حقوق الطبع محفوظة للمؤلفة

رقم الايداع بدار الكتب المصرية ١٩٩١/٥٢٣٩

الرقـم الدولـــى ٣-٠٠٧-٢٠٧ - ٩٧٧